

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.П. Розен  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” \_\_\_\_\_ 2020р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів

(код і назва спеціальності)

на тему: **«Розроблення автоматизованої системи керування очищення стічних вод котеджного містечка»**

Виконав: студент 2 курсу, групи ОА-391мп  
(шифр групи)

**Панченко Костянтин Петрович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник ст. викладач Прядко С.Л.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант стартап-проекту к.т.н., доц., Шевчук Н.А.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Київ – 2020 року**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
(повна назва)

Кафедра Автоматизації управління електротехнічними комплексами  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною (освітньо-науковою) програмою

Спеціальність (спеціалізація) 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«26» жовтня 2020 р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту**

**Панченко Костянтин Петрович**  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: **Розроблення автоматизованої системи керування очищення стічних вод котеджного містечка**

науковий керівник дисертації Прядко С.Л., ст. викладач \_\_\_\_\_,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «03» 11 2020 р. №3198-с

2. Строк подання студентом дисертації 16.12.2020

3. Об'єкт дослідження: процеси водовідведення та очистки стічних вод котеджних містечок та населених пунктів

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): очисні споруди та системи водовідведення

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- провести аналіз стану систем водовідведення стічних вод та очисних споруд котеджних містечок
- вибрати оптимальне схематичне рішення системи водовідведення для мінімізації споживання енергетичних ресурсів з використанням автоматизованої системи управління ;
- зробити розрахунки та провести моделювання автоматизованої системи та електроприводу насосної установки;

- розробити систему автоматизованого керування системою водовідведення та очищення стічних вод котеджного містечка

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 36 рис.

7. Орієнтовний перелік публікацій Панченко К.П. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД КОТЕДЖНОГО МІСТЕЧКА/ІІ Науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ /26-27 листопада 2020 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ

8. Дата видачі завдання: 01.10.2020р

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вибір і затвердження теми.	01.10.2020	
2	Підбір і ознайомлення з літературою.	3 02.10 до 12.10	
3	Складання плану, розробка індивідуального завдання на магістерську дисертацію та календарного плану виконання магістерської дисертації	3 13.10 до 18.10	
4	Поглиблене вивчення літературних джерел і написання теоретичної частини магістерської дипломної роботи.	3 19.10 до 10.11	
5	Збір і аналітична обробка статистичних матеріалів з теми дослідження.	3 10.11 до 11.10	
6	Написання магістерської дисертації та її оформлення.	3 11.10 до 02.12	
7	Моделювання системи керування насосної станції	15.11 до 2.12	
8	Розробка стартапу	20.11 до 30.11	
9	Відгук наукового керівника на магістерську дипломну роботу.	03.12	
10	Подання магістерської дисертації в ЕК та її захист.	9.12. до 10.12.2020	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Костянтин ПАНЧЕНКО

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ (підпис)

Сергій ПРЯДКО

(ініціали, прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація на тему «Розроблення енергоефективної автоматизованої системи вентиляції будівлі цивільного призначення: 96с., 36 рис., 24 табл., 33джерел.

**Актуальність теми.** Останні два-три роки характеризуються появою відносно нового формату заміської нерухомості - котеджних містечок. Містечка з єдиним планом забудови припускають розробку спільного проекту з наявністю високотехнологічної інфраструктури з сучасними засобами комунікацій, зв'язку, охорони, сфери послуг - торгових, розважальних, спортивно-оздоровчих, навчальних, медичних установ; рекреаційної зони.

При вирішенні питань відвідведення та очистки стічних вод розробники котеджних містечок віддають перевагу централізованим очисним спорудам. Сучасні технології пропонують індивідуальні установки водоочищення, споруди для груп котеджів і централізовані очисні споруди. В умовах проектування котеджного містечка найбільшими перевагами володіє централізоване очисна споруда великої продуктивності..

**Мета дослідження** впровадження нових технічних рішень на основі аналізу існуючих технологій, що дозволяє підвищити енергетичну та економічну ефективність систем водовідведення та очищення стічних вод котеджного містечка

**Об'єктом дослідження** є енергозберігаючий процес водовідведення та очищення стічних вод котеджного містечка

**Предметом дослідження** є способи підвищення енергетичної ефективності систем водовідведення та очищення шляхом впровадження системи автоматизації в очисних спорудах при дотриманні основних нормованих параметрів очищення стічної рідини.

Для централізованого очисної споруди найбільш повно вирішуються і екологічні аспекти:

- впровадження найсучасніших технологій повного очищення і доочищення стічних вод до норм на скид у водойми рибо-господарського призначення; -

- використання найменш енергоємного обладнання; -
- зневоднення і утилізація осаду; -

постійний контроль ефективності очищення і виконання всіх аналізів.

Сучасні станції з очищення стічних вод являють собою складний і дорогий комплекс інженерних споруд і комунікацій. Витрати на їх будівництво зазвичай складають від 20 до 50% вартості всієї системи водовідведення та при інших рівних умовах істотно залежать від прийнятої технологічної схеми очищення стічних вод, складу і розмірів станції. Тому питань раціонального проектування очисних споруд стічних вод повинна приділятися особлива увага.

Ключові слова: Система водовідведення та очищення, перетворювач частоти, автоматичне керування, енергоефективність, асинхронний двигун

## SUMMARY

Master's dissertation on "Development of energy-efficient automated ventilation system for civil buildings: 96p., 36 Fig., 24 tables., 33 sources. Actuality of theme. The last two or three years are characterized by the emergence of a relatively new format of suburban real estate - cottage townships. Towns with a single development plan involve the development of a joint project with a high-tech infrastructure with modern means of communication, communication, security, services - shopping, entertainment, sports, educational, medical institutions; recreational area. When dealing with wastewater treatment and treatment, developers of cottage townships prefer centralized treatment facilities. Modern technologies offer individual water treatment plants, facilities for groups of cottages and centralized treatment facilities. In terms of designing a cottage town, the greatest advantages are the centralized treatment plant of high productivity .. The purpose of the study is the implementation of new technical solutions based on the analysis of existing technologies, which allows to increase the energy and economic efficiency of drainage and wastewater treatment systems of the cottage town The object of the study is the energy-saving process of

drainage and wastewater treatment of the cottage town The subject of research is ways to increase the energy efficiency of drainage and treatment systems by implementing an automation system in treatment plants in compliance with the basic standard parameters of wastewater treatment. For the centralized treatment plant the ecological aspects are most completely solved also: - introduction of the most modern technologies of full treatment and additional treatment of sewage to norms on discharge into reservoirs of fishery purpose; - - use of the least energy-intensive equipment; - - dehydration and sludge disposal; - constant control of cleaning efficiency and performance of all analyzes. Modern wastewater treatment plants are a complex and expensive complex of engineering structures and communications. The cost of their construction is usually from 20 to 50% of the cost of the entire drainage system and, other things being equal, significantly depend on the adopted technological scheme of wastewater treatment, composition and size of the station. Therefore, special attention should be paid to the issues of rational design of wastewater treatment plants.

Keywords: Drainage and purification system, frequency converter, automatic control, energy efficiency, induction motor

# ЗМІСТ

стр

Перелік умовних позначень, символів, скорочень.....	9
Вступ.....	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ТА ВИБІР МЕРЕЖ ВОДОВІДВЕДЕННЯ КОТЕДЖНИХ МІСТЕЧОК.....	12
1.1 Очищення стічних вод за допомогою комбінованих методів очищення.....	14
1.2 Біологічне очищення стічних вод.....	17
1.3 Структурні схеми мереж водовідведення.....	20
Висновки до 1 розділу.....	25
РОЗДІЛ 2 НАСОСНІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕКАЧУВАННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	26
2.1 Аналіз конструктивних і техніко-економічних показників насосних установок.....	26
2.2 Розрахунок потужності двигуна насоса.....	31
РОЗДІЛ 3 АВТОМАТИЗАВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОЧИСНИМИ СПОРУДАМИ.....	35
3.1 Особливості технології керування насосними установками очисних мереж котеджного містечка .....	35
3.2 Розроблення моделі на базі нечіткої логіки для керування установками одовідведення.....	40
3.3 Порівняння регулюючих дій фаззі-регуляторів з пропорційно-інтегральними регуляторами.....	46
Висновки до 3 розділу.....	60
РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТОТНО- РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	61
4.1 Математична модель асинхронного двигуна.....	61
4.2 Моделювання динамічних режимів частотно-регульованого електропривода.....	61
4.2.1 Розрахунок парпметрів частио-регульованого	

електропривода для моделювання.....	70
4.2.2 Результати комп'ютерного моделювання.....	73
<b>5 СТАРТАП-ПРОЕКТ ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИМІРЮВАЧА РІВНЯ В СИСТЕМАХ ВОДОВІДВЕДЕННЯ.....</b>	<b>79</b>
<b>5.1 Цілі та етапи реалізації стартап-проекту.....</b>	<b>79</b>
5.2 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту.....	79
5.3 Аналіз конкурентного середовища.....	81
5.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту.....	84
5. 5 Ключові види діяльності та партнери.....	85
5.6 Прямі матеріальні витрати.....	86
5.7 Інші прямі витрати.....	87
5.8 Розрахунок собівартості та рентабельності товару.....	8.
5.9 Канали збуту.....	89
5.10 Бізнес-модель проекту.....	90
5.11 Термін окупності стартап-проекту та висновки.....	91
Висновки до магістерської дисертації.....	92
Перелік посилань.....	93



**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ**

АД – асинхронний двигун

АМ – асинхронна машина

В – випрямляч

ЕОМ – електронна обчислювальна машина

І – інвертор

КВ – керований випрямляч

ККД – коефіцієнт корисної дії

ПЧ – перетворювач частоти

ТП – тиристорний перетворювач

ЧРП – частотно регульований привод

IGBT – insulated-gatebipolartransistor

ЕМС – електромеханічна система;

АЕП – автоматизований електричний привод;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ГЕН – графік електричного навантаження;

ПЯЕ – показники якості електроенергії;

ЕН – електричне навантаження;

ВС - вимірювальні системи;

ЗВ - цифрові засоби вимірювання;

ПФ – передатна функція;

ПЕОМ – персональна електронна обчислювальна машина;

СКЗ - середньоквадратичне значення;

КЗ – коротке замикання;

ЕРС – електрорушійна сила;

## ВСТУП

З кожним роком зростає інтерес споживачів до заміської нерухомості, яка має багато переваг, такі як ціна, екологічність, наявність власної землі, порівняно невеликі транспортні та часові витрати. Ще кілька років тому значним мінусом котеджної нерухомості була відсутність розвиненої інфраструктури, територіальне розташування житла в селах. Останні два-три роки характеризуються появою відносно нового формату заміської нерухомості - котеджних містечок. Містечка з єдиним планом забудови припускають розробку спільного проекту з наявністю високотехнологічної інфраструктури з сучасними засобами комунікацій, зв'язку, охорони, сфери послуг - торгових, розважальних, спортивно-оздоровчих, навчальних, медичних установ; рекреаційної зони.

При вирішенні питань відвідведення та очистки стічних вод розробники котеджних містечок віддають перевагу централізованим очисним спорудам. Сучасні технології пропонують індивідуальні установки водоочищення, споруди для груп котеджів і централізовані очисні споруди. Перші два типи споруд доцільно впроваджувати в умовах сформованої забудови, коли визначальним фактором є різний рівень достатку землевласників (багато хто воліє екологічно і технологічно застарілі вигрібні ями і септики, видалення та вивезення нечистот за допомогою асенізаційної машини). В умовах проектування котеджного містечка найбільшими перевагами володіє централізоване очисна споруда великої продуктивності. Це обумовлено такими об'єктивними факторами:

- собівартість очищення одного кубічного метра стічних вод обернено пропорційна продуктивності очисних споруд;
  - капітальні витрати значно менше;
  - відпадає необхідність контролю індивідуальних очисних споруд, догляду за їх станом, вивезенню накопичених стоків за допомогою автотранспорту
- В умовах постійного зростання цін на землю найбільш раціональним є відведення окремої ділянки землі під будівництво очисних

споруд (з урахуванням санітарно-захисної зони) та розподіл витрат між майбутніми власниками не тільки котеджів, але і власників об'єктів інфраструктури (наприклад, ресторанів, розважальних закладів), які також можуть здійснювати водовідведення стічних вод. Пристрій накопичувача-усереднювача дозволяє збалансувати роботу очисних споруд і уникнути пікових навантажень. Нерівномірність водовідведення і відсутність усереднювальних ємності негативно позначається на технологічних процесах очищення в малих очисних спорудах і установках. Кількісний та якісний склад забруднень стічних вод залежить від багатьох факторів: сезонні коливання, святкові урочистості, тимчасова відсутність, наявність басейну, сауни і т. ін.. Експлуатаційні витрати значно знижуються і розподіляються між власниками котеджів (розмір оплати контролюється лічильниками водовідведення, встановленими для кожного споживача) і об'єктів інфраструктури. Для останніх в залежності від виду діяльності встановлюються локальні очисні споруди (наприклад, жироловки для ресторанів, блоки уловлювання нафтопродуктів для стоянок і АЗС). Для централізованого очисної споруди найбільш повно вирішуються і екологічні аспекти:

- впровадження найсучасніших технологій повного очищення і доочищення стічних вод до норм на скид у водойми рибо-господарського призначення; -

- використання найменш енергоємного обладнання; -

- зневоднення і утилізація осаду; -

постійний контроль ефективності очищення і виконання всіх аналізів.

Сучасні станції з очищення стічних вод являють собою складний і дорогий комплекс інженерних споруд і комунікацій. Витрати на їх будівництво зазвичай складають від 20 до 50% вартості всієї системи водовідведення та при інших рівних умовах істотно залежать від прийнятої технологічної схеми очищення стічних вод, складу і розмірів станції. Тому питань раціонального проектування очисних споруд стічних вод повинна приділятися особлива увага.

## **РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ТА ВИБІР МЕРЕЖ ВОДОВІДВЕДЕННЯ КОТЕДЖНИХ МІСТЕЧОК**

Каналізаційні очисні споруди , які пропонуються для котеджних містечок, розраховані на високу ефективність роботи і максимальні показники очищення. Зниження концентрацій органічно домішок і зважених речовин, сполук фосфору і азоту, а також оптимізація процесів утилізації відходів, що утворюються досягається завдяки впровадженню різноманітних передових технологій. Класичні технології очищення, що застосовуються на старих міських і селищних спорудах, практично вичерпали себе в плані мінімалізації розмірів і витрат на обслуговування, при цьому для досягнення високих ступенів очищення потрібні значні енерговитрати. Незважаючи на постійне вдосконалення підходу до технологічного циклу очищення, основні принципи вже багато років залишаються одними і тими ж. Очищення господарсько-побутових і зливових (дощових) стоків відбувається в кілька етапів. У їх числі: груба механічна очистка за допомогою решіток, біологічна очистка, доочищення, в рамках якої проводиться видалення залишилися концентрацій азоту і фосфору, мікрофільтрація, практичний досвід стоків (або озонування), зневоднення осаду, термічна сушіння зневодненого осаду. Сучасні очисні споруди, що використовуються інженерами в селищах, дозволяють ефективно вирішувати завдання первинного очищення стічних вод з їх подальшою доочищенням і знезараженням. Надалі такі води допускається скидати у водойми і на рельєф. Продуктивність обладнання, залежить від кожної окремої ситуації і може коливатися в діапазоні між 5 і 1000 кубічними метрами стічної рідини на добу. Таким чином, замовник завжди може вибрати саме ту систему, яка оптимальним чином підійде для вирішення його проблеми. У числі основних вимог до очисних споруд варто відзначити максимальну інтенсифікацію процесів очищення, можливість збільшення обсягів очищується стічної рідини, стабільність колоній бактерій, розташованих на біоносітель і знаходяться в аеротенках. Крім цього, при будівництві очисних споруд для селищ дуже важливо, щоб фінансові витрати

на утилізацію твердих опадів мали мінімальні (як і їх обсяг), а витрати на електроенергію повинні відповідати обсягу очищаються стоків. Якість виготовлення системи має забезпечувати стабільність роботи і довговічність. Дуже важливо, щоб споруда займало найменшу площу.

Технічні заходи передбачають очищення стічних вод різними методами, повторне використання стічних вод для технічних потреб та поливу, створення оборотних та замкнених систем водокористування, вдосконалення технологічних процесів у напрямку зменшення надходження забруднень у стоки, перехід на безвідходні технології, змешення забруднення територій, котрі зі зливовими стоками можуть потрапляти до водойм.

Очищення стічних вод може здійснюватися за однією з таких схем:

- очищення стічних вод на очисних спорудах звідведенням очищеної води на поля;

- очищення стічних вод після їхнього забруднення на очисних спорудах з подальшим спуском у водойми;

- безперервне очищення стічних вод та розчинів на локальних очисних спорудах протягом певного часу, після чого вони передаються на регенерацію, і повертаються для повторного використання для господарчих потреб

Очищення стічних вод може здійснюватися механічними, фізико-хімічними, хімічними і біологічними методами (рис. 1.1). але найчастіше застосовують не лише один метод, а використовують декілька з вищезгаданих методів. Із-за складного складу стічних вод при їх очищенні використовується комбінація різних методів. В усіх випадках першою стадією є механічне очищення, сприяюче видаленню дисперсних та твердих речовин. Аналіз собівартості очищення стічних вод ще раз підтвердив важливий висновок про те, що механічне очищення є до певної міри найдешевшим методом, а тому завжди доцільне попереднє очищення стічних вод механічними методами. Це в першу чергу вимагає, щоб технологія і устаткування для затримання механічних включень із стічних вод забезпечували максимальне затримання

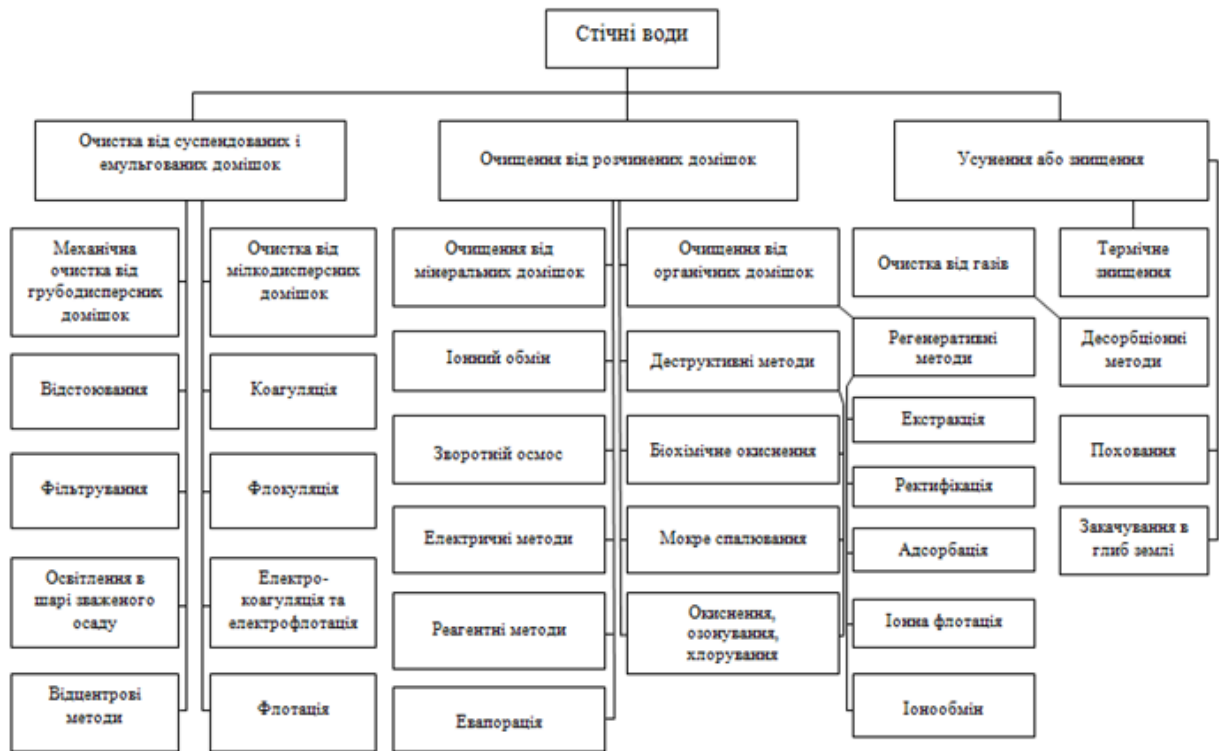


Рис. 1. Методи очистки стічних вод

грубодисперсних домішок для зниження сухої маси сирого осаду і відповідно пов'язаних з ним проблем.

### 1.1 Очищення стічних вод за допомогою комбінованих методів очищення

Механічні методи очищення вод мають обмежене застосування і малоефективні. Тому в сучасній технології очищення стічних вод застосовують схеми і установки, де поєднуються в комбінації механічні, фізико-хімічні і хімічні методи.. Технологія ґрунтована на багатостадійному очищенні з виділенням механічних домішок, зважених речовин, розчинених органічних з'єднанні . На стадії механічного очищення відбувається усереднювання стоку, виділення крупнодисперсних часток і осідання грубодисперсних домішок (пісок і інші механічні домішки). Напірною флотацією віддаляється основна маса, та витягаються органічні домішки. На стадіях очищення флотації як реагентів використовуються високомолекулярні катіонні флокулянти, що мають підвищену пінотворну здатність.. Очищена вода в залежності від ступеня очищення може скидатися

у водойму. Блок схеми очисних комбінованих установок наведено на рис 1.2 ( а , б, в).

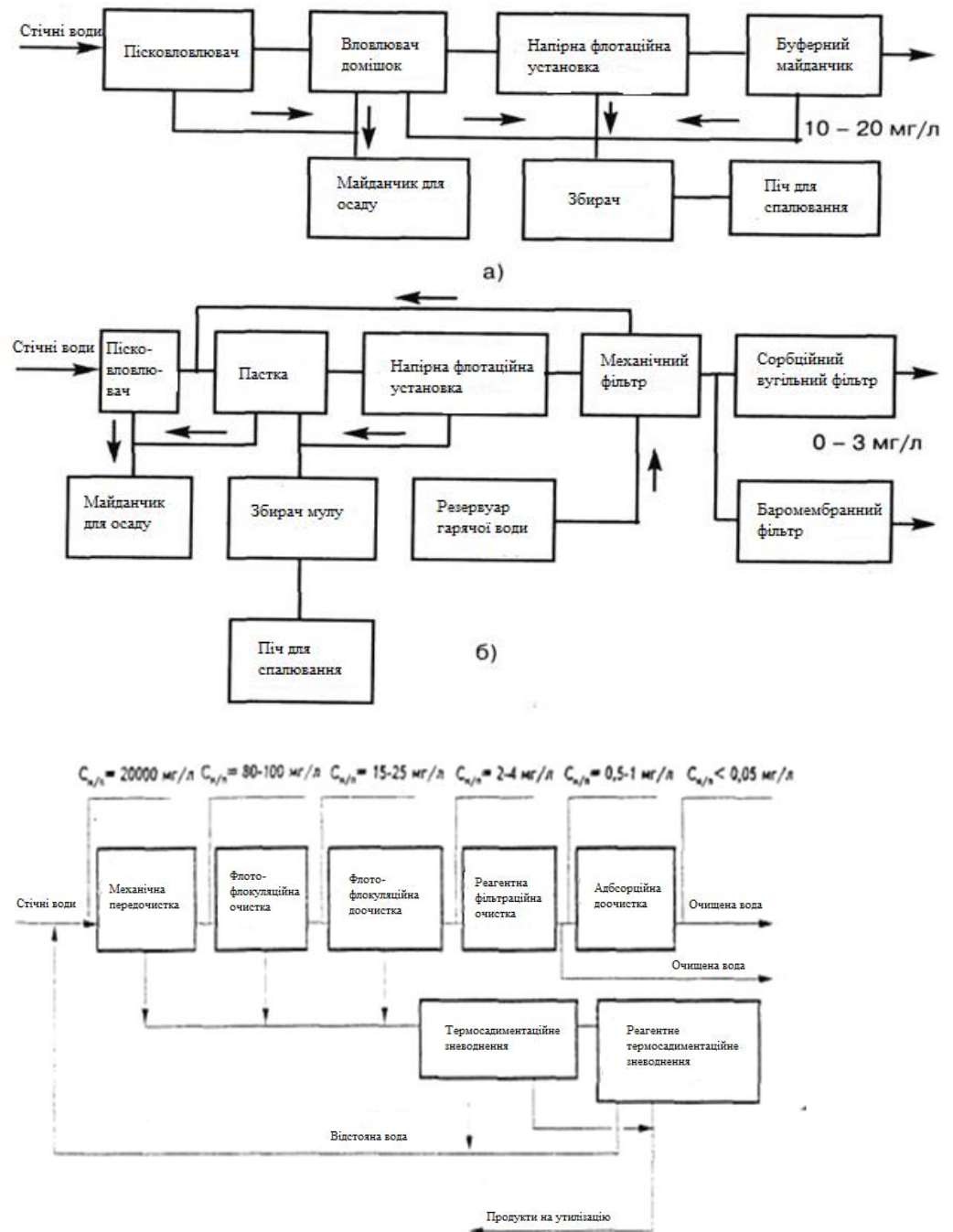
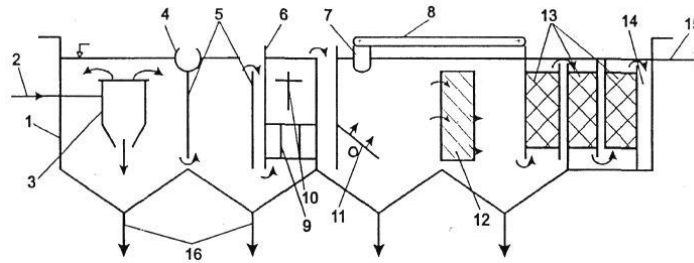


Рисунок 1.2. Блок-схеми установок для комбінованої очистки стічних вод  
Очищення невеликих кількостей вод (від 1,5 до 100 м<sup>3</sup>/ч), що утворюються складах горюче-мастильних матеріалів, автопідприємствах, залізничних станціях, робиться, як правило, не установках заводського виготовлення. До складу установок входять різні комбіновані апарати, що

включають в одній місткості відстоювання, коагуляцію, флотацію, сорбцію, а також спорудження колонного типу механічного, фізико-хімічного, біологічного очищення. Конструкція комбінованої установки представлена на рис.1.3



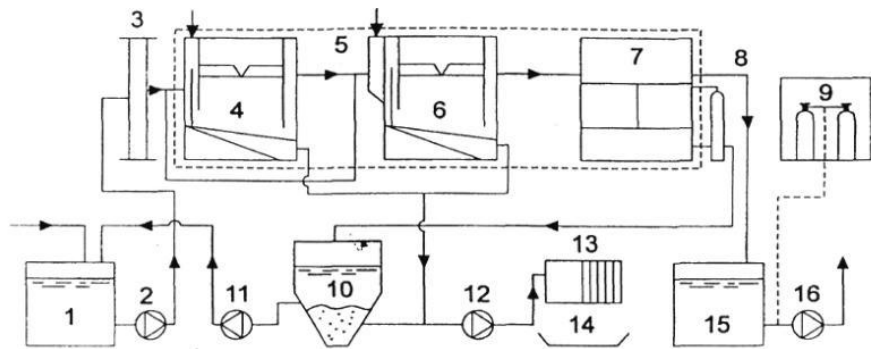
1 - корпус; 2 - подання води; 3 - водоворотна камера; 4 - поворотна труба з ручним приводом; 5 - затоплена перегородка; 6 - напівзанурювальна перегородка; 7 - пінозбиральний лоток; 8 - пінозбиральний скребок; 9 - електроблок; 10 - механічна мішалка; 11 - камера змішування водовоз-душною сумішшю; 12 - тонкошаровий блок; 13 - фільтри із завантаженням; 14 - резервуар чистої води; 15 - відведення води; 16 - відведення осаду

Рисунок 1.3. Комбінована установка продуктивністю 5-7 м<sup>3</sup>/ч

При очищенні невеликих об'ємів різних категорій стічних вод, у тому числі, певну проблему представляють їх прийом і усереднювання. Для цих цілей розроблена і використовується конструкція усереднювача відстійника. У споруді разом з накопиченням і усереднюванням робиться ущільнення осаду, пневматична флотація і збір, що виплило, залежно від якості і кількості води. Очищення стічних вод здійснюється із застосуванням або без застосування реагентів залежно від початкового складу і витрати стічних вод. Якість очищеної води дозволяє у ряді випадків використати її без додаткового коригування в системах оборотного водопостачання. Водочисною комплекс включає: флотатор-відстійник і контактний освітлювач, які розміщені в одному корпусі. Залежно від умов застосування, складу стічних вод і концентрації домішок водочисної комплекс оснащується додатковими пристроями: сатуратором для насичення стічних вод повітрям під надмірним тиском; електролізером з розчинними пластинчастими або стружковими електродами; змішувачем стічних вод з реагентами; апаратами нейтралізації води і її доочистки; нутч-фільтром для



обезводнення твердих відходів. Додаткові пристосування і пристрої входять в комплект постачання. Водоочисною комплекс УФИАН-м має габарити які дозволяють розміщувати його на діючих очисних спорудах, при їх реконструкції і модернізації. Компонування комплексу дозволяє істотно спростити його монтаж і експлуатацію. В порівнянні з аналогами водоочисної комплекс УФИАН-м має менші металоємність і загальні габарити, дозволяє здійснювати очищення стічних вод з середньою і високою концентрацією домішок. Він характеризується високою надійністю, простотою в обслуговуванні і експлуатації.



1 – усереднювач накоплювач; 2,11,12,16 - насоси; 3 - сатуратор; 4 - флотатор 1-го ступеня; 5 - електроореактор; 6 - флотатор 2-го ступеня; 7 - контактний освітлювач; 8 - пристрій для промивання контактного освітлювача; 9 - пристрій для нейтралізації очищеної води; 10 - місткість промивної води контактного освітлювача; 13 - фільтр-прес; 14 - піддон; 15 - резервуар очищеної води

Рисунок 1.4 Водоочисний комплекс УФИАН-м

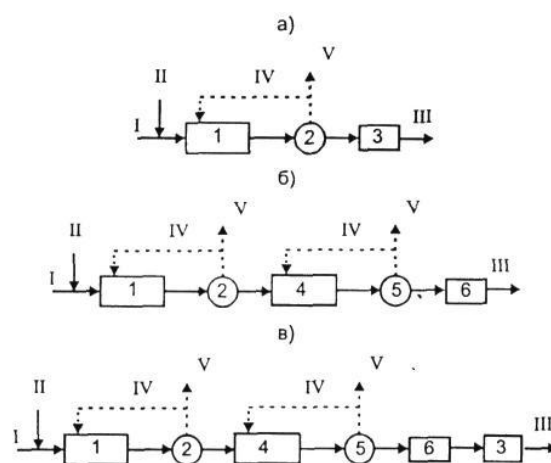
## 1.2 Біологічне очищення стічних вод

На очисних спорудах стічні води проходять пісколовки, де з води виділяються крупнодисперсні продукти, а також важкі механічні домішки і пісок. Потім стічні води спрямовуються в нафтоуловлювачі, в яких здійснюється очищення, що малодиспергованих часток, і важкої суспензії 0,8 мм/с. Пройшовши радіальні відстійники, вода подається на очисні споруди для біологічного очищення. Для біологічного очищення заздалегідь очищених стічних вод використовуються в основному аеротенки з розосередженим впусканням води і аеротенки-змішувачі. Аеротенки-витискувачі найчастіше застосовують на другому ступені очищення. У

зарубіжній практиці разом з аеротенками використовуються біофільтри. Проте при цьому потрібно більш ретельне видалення із стічних вод механічних домішок. У тому випадку, якщо після механічного очищення концентрація перевищує гранично допустиму величину (25 мг/л), при якій вода може подаватися на спорудження біологічного очищення, в загальну технологічну схему включається фізико-хімічне очищення.

Кількість ступенів біологічного очищення вибирається залежно від якісного складу стоків і прийнятої системи каналізації. Орієнтовні концентрації забруднень, що обумовлюють застосування одно- або двоступінчатих схем біологічного очищення, приведені в таблицю.24

Нові технології і процеси очищення проводилися по трьох основних напрямках: нові технології і схеми глибокого видалення із стічних вод органічних забруднень за різних умов аеробіозу; нові завантажувальні матеріали для підвищення продуктивності, надійності і стабільності роботи споруджень біологічного очищення; комбіновані апарати, що поєднують біологічні і адсорбційні процеси, для глибокого видалення із стічних вод специфічних інгредієнтів до нормативів ГДК на стадії доочистки.



а - одноступінчата; б, в - двоступінчаті; / - виробничий стік; // - господарчо-побутовий стік; /// - очищена вода; IV - поворотний активний мул; V - надмірний активний мул; 1 - аеротенк-змішувач або аеротенк з розсосередженим впусканням води; 2 - вторинний відстійник; 3 -біологический ставок; 4 - аеротенк-витискувач або аеротенк з розсосередженим впусканням води; 5 - третинний відстійник; 6 - фільтр доочистки

Рисунок .1.5. Біологічні схеми очищення стічних вод

З світової і вітчизняної практики біологічного очищення стічних вод відомо, що оптимальне поєднання анаеробних (чи аноксичних) і аеробних процесів дозволяє якнайповніше використати переваги кожного методу і виключити їх недоліки, тим самим збільшити ефективність і продуктивність процесу в цілому. Застосування комбінованих схем дозволяє не лише збільшити глибину очищення, але і поліпшити седиментаційні властивості активного мулу, що важливо при обробці стічних вод НПЗ в аеротенках, активний мул яких характеризується високим муловим індексом. анаеробних (безкисневих) умовах багато органічних сполук можуть окислюватися за рахунок кисню, що міститься в окислених з'єднаннях сірки і азоту, відновлюючись при цьому до вільного азоту (процес денітрифікації)..

Адсорбція і біологічна обробка добре поєднуються між собою при видаленні із стічних вод органічних забруднень, взаємно до-повняючи один одного відносно типів молекул, які вони здатні видаляти. Поєднання біологічних і адсорбційних стадій в єдиний "біофізико-хімічний" процес дозволяє максимально використати переваги адсорбційнобіологічної кооперації і є перспективним напрямом вдосконалення технології біологічного очищення. Проведені дослідження з більш ніж 20 видами промислових і міських стічних вод різного складу, природними водами, а також з індивідуальними речовинами різної природи, міри біорозкладності.

До їх числа відноситься ряд типів барвників, СПАВ, з'єднання азоту, , сірчисті, хлорорганічні і фосфорорганічні з'єднання. Технологічні випробування показали високу ефективність біосорбентів як споруджень глибокої доочистки стічних вод, очищення природної води від консервативних і біоокислюваних органічних сполук. Основним механізмом, відповідальним за видалення як біорозкладаних, так і біорезистентних з'єднань, є біологічне окислення, здійснюване за схемою : адсорбція - ферментативна модифікація в мікропористій структурі сорбенту - десорбція біорозкладаного продукту - біологічне окислення. Біосорбційний процес реалізований у вигляді двошарового реактора, що поєднує зону

псевдозрідженого шару і зону фільтрування в шарі гранульованого сорбенту. Конструкція биосорбера має високі массообмінні характеристики для ефективного підведення кисню, забезпечує стійкість завантаження і водорозподільних систем проти колюматції і засмічення біомасою або зваженими речовинами стічних вод, ефективне відділення очищеної води від завантажувального матеріалу і зважених речовин

Останні досягнення мікробіології, біохімії і біотехнології очищення стічних вод, застосування ефективних носіїв для іммобілізації гидробиоценозов, використання в процесі селекціонованих високоактивних асоціацій мікроорганізмів-деструкцій, здібних використати альтернативні кисню термінальні акцептори електронів, сприяли розробці і впровадженню анаеробних процесів при очищенні такого роду стічних вод.

### 1.3 Структурні схеми мереж водовідведення

Для відведення стічних вод застосовують наступні структурні схеми:

перпендикулярна

пересічена;

паралельна (віялова);

зонна (поясна);

радіальна.

**Пересічена** - така схема застосовується при плавному падінні рельєфу місцевості до водоймища і необхідності очищення стічних вод. Вона зручна при реконструкції старих систем каналізації, виконаних за перпендикулярною схемою **Паралельна** - колектори басейнів каналів водовідведення спрямовані під кутом або паралельно один до одного і по відношенню до водоймища і перехоплюються головним колектором, який відводить стічні води на очисні споруди **Зонна або поясна** - використовується при розташуванні об'єкта на території з терасами, горбистим, нерівномірним рельєфом. За цією схемою котедж не містечко розбивають на зони (пояси) з самостійними мережами, стічні води нижньої

зони перекачують в головний або відвідний колектор верхньої зони, що йде на очисні споруди.

**Радіальна** - застосовується при відведенні стічних вод окремих кварталів самостійними системами і при розкиданих майданчиках очисних споруд (при децентралізованій схемі водовідведення). Ця схема зручна тим, що при розширенні забудови містечка не потрібна перебудова діючих колекторів.

Зовнішня вулична мережа, насосні станції, очисні споруди та пристрої для випуску очищених вод у водойму утворюють систему водовідведення котеджного містечка. Залежно від виду зовнішньої мережі водовідведення, системи поділяються на:

- загальносплавну;
- повну роздільну;
- напівроздільну;
- неповну роздільну;
- комбіновану.

Взагальносплавній системі водовідведення (рис. 1.6) побутові, атмосферні та умовно чисті виробничі стічні води сплавляються за єдиною колекторною мережею. Забезпечення самопливного руху стічних вод вимагає прокладання трубопроводів зовнішньої мережі з нахилом у бік руху стічних вод. Тому територія містечка розбивається на ділянки водовідведення, межами яких є лінії вододілів 8. Побутові стічні води від будівель і атмосферні стічні води від зливоприймачів та систем зливного відведення будівель надходять у вуличні колектори 1, за якими самопливом надходять до вузлових колекторів 2, прокладені на знижених ділянках рельєфу кожного району водовідведення. Основним недоліком загальносплавної системи водовідведення є великі витрати на її облаштування, зумовлені тим, що всі колектори системи, її насосні станції та очисні споруди призначаються для пропуску сумарного об'єму побутових, атмосферних та умовно чистих виробничих стічних вод.

Розрахункова витрата стічних вод загальносплавної системи спостерігається тільки в періоди інтенсивних злив, тому в решту часу вона працює тільки на частину своєї пропускної здатності. Крім того, в період відсутності дощів спостерігається низький рівень заповнення колекторів системи, що негативно позначається на гідравлічному режимі роботи мережі.



Рисунок 1.6 Загальносплавна система водовідведення стічних вод



Рисунок 1.7 Повна роздільна система водовідведення стічних вод

Приповній роздільній системі водовідведення (рис. 1.7) встановлюються різні колектори для транспортування побутових і атмосферних стічних вод. При цьому, під землею встановлюють як колектори побутових, так і колектори атмосферних стічних вод. Встановлення роздільної системи водовідведення вимагає менших витрат порівняно з загальносплавною, так як головний колектор, головна насосна станція та очисні споруди проектується по розрахункових витратах побутових стічних вод містечка, що значно знижує вартість такої системи. Проте випуск неочищених атмосферних вод у водойму погіршує санітарні та водоохоронні характеристики даної системи.

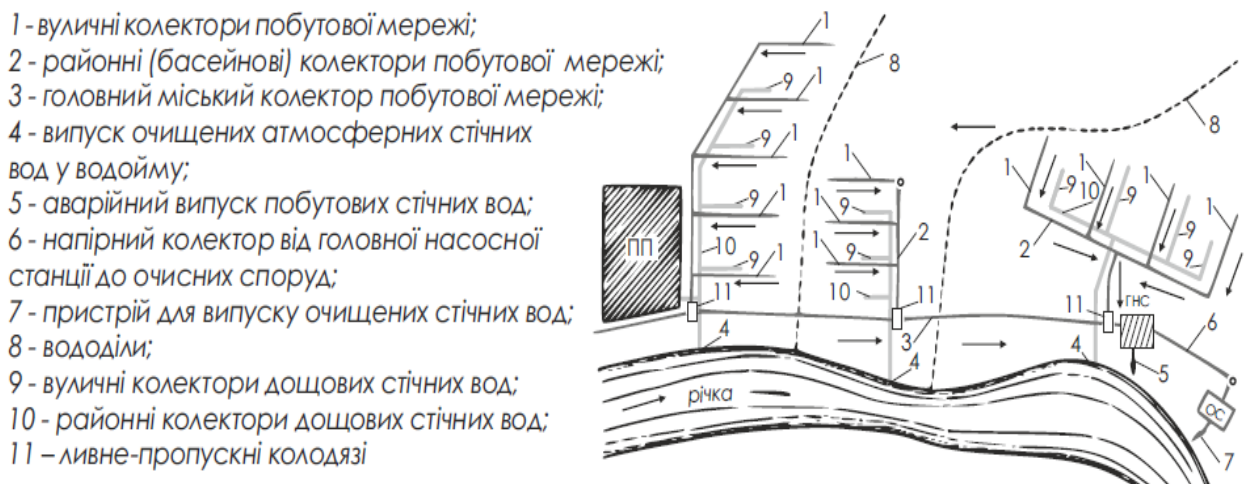


Рисунок 1.8 Напівроздільна система водовідведення стічних вод

Напівроздільна система (рис. 1.8) відрізняється від повної роздільної тим, що в місцях перетину колекторів дощової мережі з головним колектором побутових стоків встановлюють водоскидні камери (ливне-пропускні колодязі). Таке рішення дозволяє перепускати перші, найбільш забруднені надходження дощових або талих вод, в колектор побутових стічних вод з подальшим їх транспортуванням на очисні споруди. Тому санітарні характеристики напівроздільної системи кращі, ніж у повної роздільної.

канавах. Як правило, облаштування неповної роздільної системи є початковим етапом подальшого будівництва повної роздільної системи.

З усіх різновидів роздільних систем водовідведення, найбільш досконалою в санітарному та водоохоронному відношеннях є повна роздільна система з очисними спорудами атмосферних стічних вод рис.1.9, яка передбачає очищення всіх атмосферних та умовно чистих виробничих стічних вод перед їх скиданням у водойму.

- 1 - вуличні колектори побутової та дощової мережі;  
 2 - районні (басейнові) колектори;  
 3 - головний міський колектор,  
 4 - напірний районний колектор;  
 5 - аварійний випуск;  
 6 - напірний колектор від головної насосної станції до очисних споруд;  
 7 - пристрій для випуску очищених стічних вод;  
 8 - вододіли;  
 ПП - промислове підприємство;  
 РНС - районна насосна станція;  
 ГНС - головна насосна станція;  
 ОС - очисні споруди

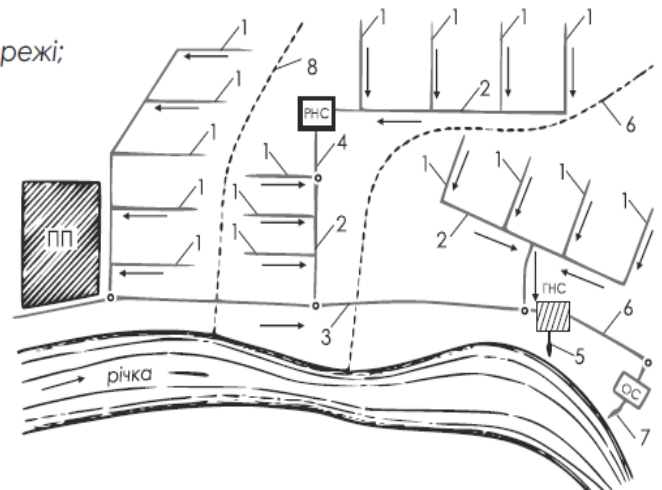


Рисунок 1.9 Схема повної роздільної системи водовідведення з установками очищення дощових вод

При **комбінованій системі** водовідведення різні ділянки котеджного містечка обслуговуються різними системами водовідведення. Наприклад: загальносплавною, напівроздільною або роздільною. Часто комбінована система утворюється при реконструкції загальносплавної системи та виділення її колекторів тільки для транспортування побутових стічних вод, а для дощових стічних вод передбачається будівництво самостійних колекторів. Так як процес реконструкції системи відведення досить витратний і тривалий за часом, то на території містечка, в різних його частинах, одночасно функціонують різні системи..

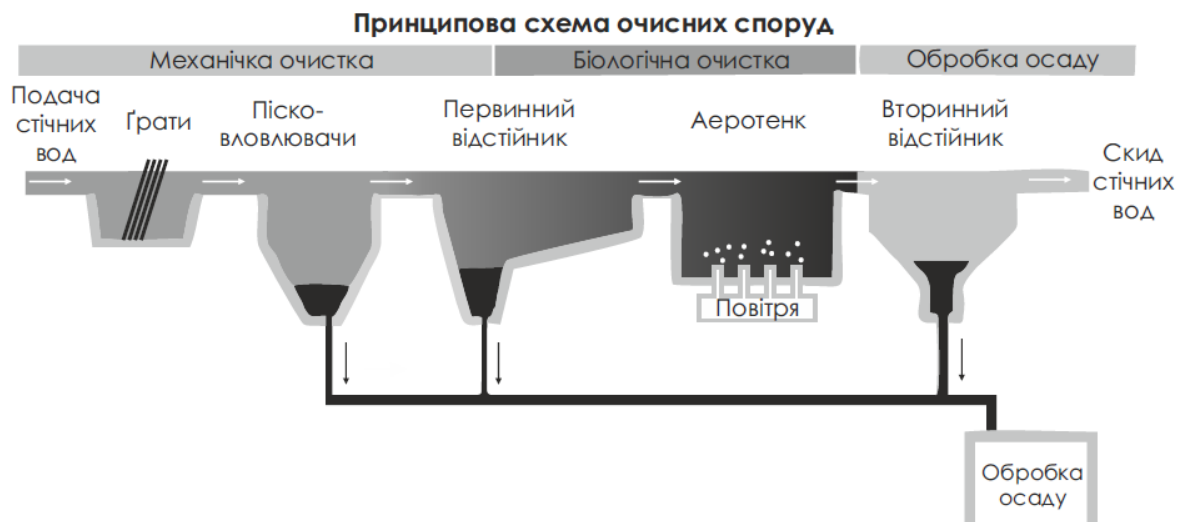


## Висновки до 1 розділу

1. З усіх різновидів роздільних систем водовідведення, найбільш досконалою в санітарному та водоохоронному відношеннях є повна роздільна система з очисними спорудами атмосферних стічних вод, яка передбачає очищення всіх атмосферних та умовно чистих виробничих стічних вод перед їх скиданням у водойму. Або передачу для господарських потреб котеджного містечка

2 Принципова схема очисних очисних споруд повинна включати в себе

Установки механічної, хімічної, біологічної очистки та оброблення осаду



## РОЗДІЛ 2 НАСОСНІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕКАЧУВАННЯ СТІЧНИХ ВОД

### 2.1 Аналіз конструктивних і техніко-економічних показників насосних установок

Кількість електроенергії, що витрачається насосом для нормального функціонування водопровідної або водовідвідної мережі, залежить від витрати води в системі, геометричної висоти підйому, гідравлічного опору мережі, ККД насоса і узгодженості гідравлічних характеристик насоса і системи. Для досягнення максимальної енергоефективності системи необхідно мати якомога вищі значення коефіцієнтів корисної дії насоса і електродвигуна, а також коефіцієнта режиму системи.

У асинхронних електродвигунів значення ККД - 0,7 для невеликої потужності і мало залежить від режиму роботи насоса. Залежно від типу, технології виготовлення і конструктивних особливостей насоса його ККД на оптимальній подачі може бути в межах 0,3...0,8, а на часткових навантаженнях він знижується до нульового значення.

Якщо вибрано недосконалий насос, а розрахункова витрата в системі значно відрізняється від оптимального режиму роботи, чекати високої енергоефективності системи не доводиться. Якщо не вжити заходів при проектуванні систем водовідведення і водопостачання та при підборі устаткування для них, коефіцієнт енергоефективності гідравлічних систем може скласти всього 6%, що ніяк не може бути визнано задовільним. Однією з неодмінних умов створення гідравлічних систем з високою енергоефективністю є наявність широкої номенклатури високоякісних насосів з великою різноманітністю гідравлічних параметрів і конструктивного виконання, що мають високий ККД.

З усіх виробників насосного обладнання для систем водовідведення і водопостачання найбільшу популярність отримали насоси GRUNDFOS (Данія), WILO (Німеччина) и DAB (Італія).

Вітчизняні заводи представлені на ринку як виробники насосів з сухим ротором. Це насоси К, КМ, КМЛ, ЕЦВ, ЦВЦ, НЦ, ЦНСГ. Такі насоси продовжують випускатися за старими типовими проектами з тими чи іншими вдосконаленнями. На думку спеціалістів, їх не можна застосовувати як енергозберігаюче обладнання, оскільки електродвигуни і сам насосний агрегат, як правило, мають менший ККД, а також через те, що не використовуються сучасні торцеві ущільнення. Винятком є дві моделі НЦ — з торцевими ущільненнями.

В той час, як світові лідери насособудування перестають випускати насоси з електродвигунами стандарту EFF-3 (ККД 84%), вітчизняні виробники таке питання не обговорюють. Наприклад, у кращих вітчизняних електродвигунів ККД складає 70%, у електродвигунів, які випускаються концерном GRUNDFOS стандарту EFF-1, він досягає 90% [1,2]. На даний час GRUNDFOS збільшує номенклатуру насосів стандарту EFF-1 і в найближчий час перейде на випуск насосного обладнання тільки з електричними двигунами EFF-1.

Якщо розглядати всі витрати за середнього експлуатаційного терміну насоса 10 років, то це виглядає приблизно так: 5% — вартість насоса; 10% — витрати по експлуатації; 85% — вартість спожитої електроенергії. Отже, застосовуючи насоси з електродвигуном стандарту EFF-1, економиться близько 10% спожитої електроенергії, що приблизно в 2 рази перевищує вартість насоса. Тому, вибираючи той чи інший насос, орієнтуватись тільки на його вартість без урахування ККД і сумарних експлуатаційних затрат — нерационально. Отже, при виборі необхідного насоса різницею вартості між насосами Grundfos, WILO, DAB, яка може становити близько 30%, можна знехтувати.

Таким чином:

- перший критерій, яким потрібно керуватись при виборі насоса — це його економічність (споживана потужність). Якщо відсутні графіки

споживаної потужності, в залежності від навантаження можна спрощено визначити її, помноживши потужність електричного двигуна на ККД насоса;

- другий критерій — якість і надійність;
- третій критерій — простота обслуговування і наявність спеціалізованих сервісних центрів;
- четвертий критерій — універсальність виробника обладнання, його авторитет на міжнародному ринку і економічна стабільність.

Аналіз конструктивних і техніко-економічних показників найбільш застосованих насосів Grundfos, WILO, DAB.

У GRUNDFOS на сьогоднішній день найширший комплексний асортимент насосів. Це агрегати з продуктивністю до 120 м<sup>3</sup>/год і тиском до 40 бар. Серед них 10 типових рядів насосів у чотирьох базових варіантах виконання і тисячі різноманітних типорозмірів.

Асортимент насосів підвищення тиску CR підібраний таким чином, щоб включати безліч параметрів потужностей з малими інтервалами між ними. Аналогічні насоси фірми WILO и DAB мають менше 500 типорозмірів з продуктивністю до 75 м<sup>3</sup>/год і тиском до 25 бар.

Насос CR може поставлятися з вбудованим перетворювачем частоти і датчиком тиску, що ще більше підвищить достатньо високі показники енергозбереження насоса CR.

Насоси CR можуть працювати в широкому спектрі перекачуваних середовищ — від питної води до агресивних промислових рідин. Для нейтральних рідин насоси виробляються з нержавіючої сталі AISI 304 і високоякісного чавуну, насоси CRI — виключно з нержавіючої сталі. Для агресивних рідин насоси виготовляються із нержавіючої сталі AISI 316. Для рідин з вмістом солі - з титану CRT.

Як приклад візьмемо два близьких по характеристикам насоси CR 3-33 GRUNDFOS і MVI 220 — WILO (табл. 2.1). Як видно із наведеного прикладу, при Q=3 м<sup>3</sup>/год і H=160 м номінальних характеристик насосів насос GRUNDFOS має значні переваги.

Таблиця 2.1- Характеристики насосів CR 3-33 GRUNDFOS і MVI 220 - WILO

№ п/п	Модель насосу	Номінальна потужність	ККД насосу (%)	Економія (кВт·год)
1	CR 3-33	2,28	58,4	0,82 (26%)
2	MVI 220	3,1	42	-

На рис.2.1 наведені залежності ККД від частоти обертання двигуна (а) та ККД від потужності на валу (б) насосів “ІНЛАЙН”.

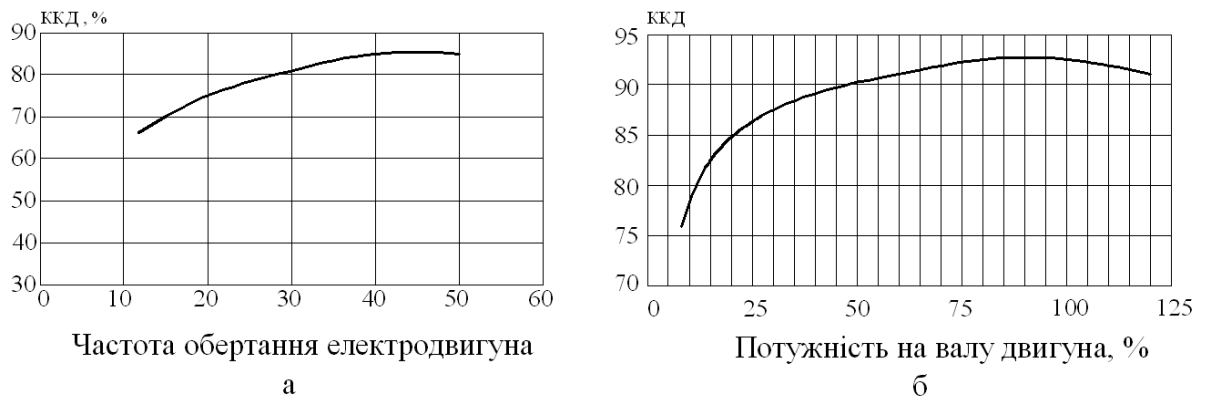


Рисунок 2.1 - Залежності ККД насосів “ІНЛАЙН” від частоти обертання двигуна (а) та ККД від потужності на валу (б)

Насоси MAGNA споживають на 60% менше енергії в порівнянні з насосами попередніх типів, ККД зріс на 30%.

Конструкція ротора заснована на принципі постійного магніта. Технологія електродвигуна з постійним магнітом була вдосконалена і застосована в насосі з мокрим ротором. Застосування передових технологій гарантує тривалий термін служби і високоефективну експлуатацію устаткування.

Насоси GRUNDFOS за незначної різниці у вартості мають ряд серйозних переваг: менше енергоспоживання на 10...15%; більш зносостійкі - збільшують термін експлуатації устаткування; велика надійність.

Таблиця 2.3 - Техніко-економічні показники циркуляційних насосів

№ п/п	Перелік основних характеристик насосного устаткування	Grundfos MAGNA 32-120F	WILO TOP-E 30/1-10	DAB (аналогів нема) KLP 40/600E — з сухим ротором
1	Вартість (в EUR)	935,0	893,0	2380,0
2	Споживана потужність ел. двигуна (кВт)	0,022-0,345	0,055-0,400	
3	Матеріали виготовлення:			
	робоче колесо	композит res gf30 нерж. сталь	поліпропілен зі скловолокном	
	вал	кераміка	нерж. сталь	
	підшипник	кераміка	металографіт	

На рис. 2.2 зображено залежність потужності, що витрачається, від витрати (а) та графік статистичної зміни продуктивності насоса протягом року (б). Як видно з рис. 2.2 насос працює з максимальною продуктивністю тільки 5% всього часу, при 80% від максимальної продуктивності - 15% часу і т.д. При проектуванні насосних систем необхідно правильно визначати витрату рідини і тиску. Виходячи з цього, здійснюється вибір насосів і способ керування ними. Спосіб залежить від того, за яким параметром регулюється система - витрата рідини чи тиск.

Системи, керовані по витраті, потребують вирівнювання показника змінної витрати і, отже, вимагають насосів із змінною частотою обертання двигуна. Якщо значення витрати рідини коливається, то, як

правило, можуть використовуватися один або декілька насосів з постійною частотою обертання двигуна, за умови існування накопичувального резервуару. Проте з погляду енергозбереження така схема не завжди вигідна і вимагає застосування принципу частотного регулювання

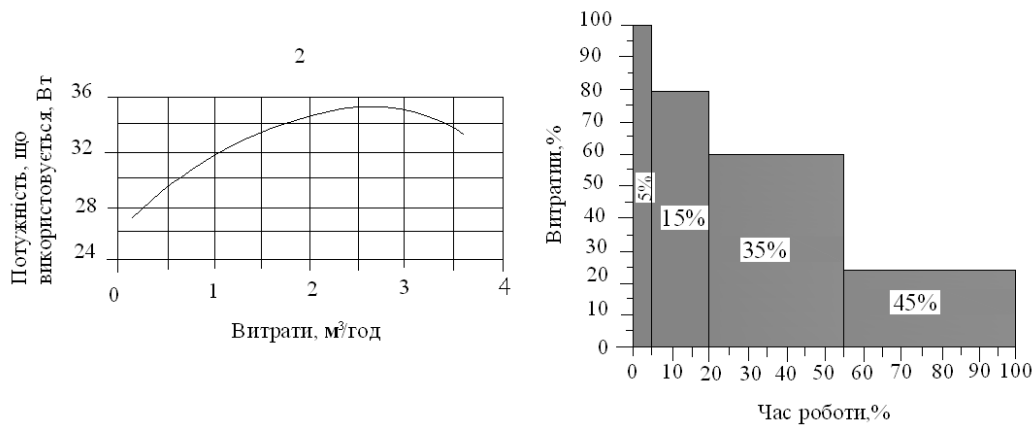


Рисунок 2.2 - Залежність потужності що витрачається від витрати (а) та графік статистичної зміни продуктивності насоса протягом року (б)

. Системи, керовані по тиску, перекачують рідини для технологічних процесів, або в накопичувальні резервуари. Подача води здійснюється на основі постійного або змінного значення тиску. Системи, регульовані по тиску, перекачують технологічні рідини, воду для господарських, питних потреб і т.ін. Крім того, різниця у водоспоживанні може регулюватися насосом із змінною частотою обертання двигуна при використанні накопичувального резервуару в поєднанні з насосами з постійною частотою обертання двигуна.

## 2.2 Розрахунок потужності двигуна насоса

У тих випадках, коли неможливо здійснити відвід стічних вод самопливом, застосовують насосні агрегати. Враховуючи те що, рідина, яка перекачується має в своєму складі велику кількість забруднень (пісок, папір, ганчір'я, інші домішки), до конструкції насосів висувають певні вимоги: вони не повинні засмічуватись забрудненнями, їх конструкція повинна забезпечувати можливість очищення робочого колеса, корпусу та патрубків у разі засмічення. З урахуванням цих вимог насоси, які

застосовуються для перекачування стічних вод, мають ряд конструктивних особливостей, а саме:

- насоси мають тільки одне робоче колесо;
- робочі колеса мають всього дві-чотири лопаті;
- на корпусі насосу і вхідному патрубку встановлюються люкиревізії.

Другим важливим конструктивним елементом насосів є двигун.

На великих насосних станціях використовують переважно двигуни повітряного охолодження. Такий тип двигуна дуже розповсюджений і у разі виходу з ладу його можна швидко замінити двигуном будь-якого виробника, який є в наявності і відповідає необхідній потужності та конструктивним розмірам.

На насосних станціях невеликої продуктивності, використовують переважно занурювальні насосні агрегати, які призначені для установки в рідині. В таких насосах використовуються спеціальні двигуни, які повністю ізольовані від оточуючого середовища. Охолодження двигуна при цьому відбувається за рахунок передачі тепла у навколишнє середовище.

Відцентрові насоси в більшості випадків виконуються швидкохідними, тому їхні приводні двигуни мають високу швидкість ( $n_1=1000...3000$  об/хв) і з'єднуються з валом насоса безпосередньо.

$$P_{\text{дн}} = \frac{k_z \rho g Q (H_c + \Delta H)}{\eta_{\text{нас}} \eta_n}$$

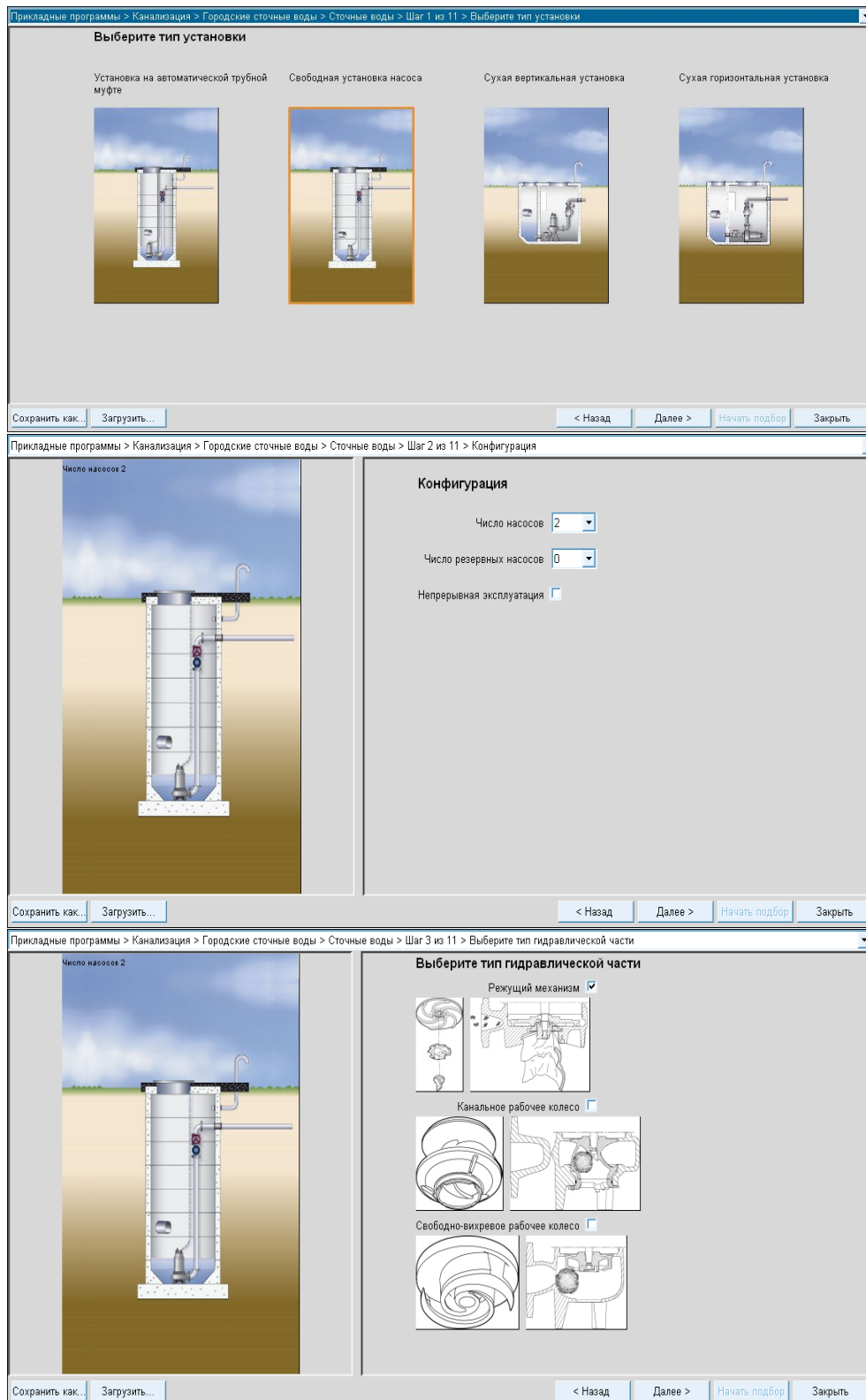
$$P_{\text{дн}} = \frac{1.1 \cdot 998 \cdot 9.81 \cdot \frac{40}{3600} \cdot (16 + 15)}{0.88 \cdot 1} = 3,0 \text{ кВт}$$

де  $k_z$  - коефіцієнт запасу, рекомендується приймати його 1.0...1.3 в залежності від потужності двигуна;  $\rho$  - щільність рідини, що перекачується,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g = 9,81$  - прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;  $Q$  - продуктивність насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H_c$  - статичний напір, обумовлений як сума висот всмоктування і нагнітання, м;  $H$  - втрата напора в трубопроводах




насосної установки, м, що залежить від перетину і якості обробки труб, кривизни ділянок трубопроводу, наявності вентилів і засувок;  $\eta_{\text{нас}}$  - ККД насоса, рівний 0,9...0,95;  $\eta_{\text{п}}$  - ККД передачі.

Як приклад наведено вибір насосу за допомогою програми WinCAPS  
7.60 Grundfos (рис.2.3)



Прикладные программы > Канализация > Городские сточные воды > Сточные воды > Шаг 4 из 11 > Ваш запрос



**Ваш запрос**

Расход (Q)  л/с

Геодезическая высота  м

Потери на трение трубопровода  м ...

Расход резервного насоса (Q2)  л/с

Размер для

Допустимое снижение параметра  %

Темп. рабочей среды <= 40 ? ☒

Сохранить как... Загрузить... < Назад Далее > Начать подбор Закрыть

Прикладные программы > Канализация > Городские сточные воды > Сточные воды > Шаг 9 из 11 > Grundfos рекомендует:

**Обзор:**

**Выберите тип установки**

Свободная установка насоса

**Конфигурация**

Число насосов	2
Число резервных насосов	0
Непрерывная эксплуатация	Нет

**Выберите тип гидравлической части**

Режущий механизм	Да
Канальное рабочее колесо	Нет
Свободно-вихревое рабочее колесо	Нет

**Ваш запрос**

Расход (Q)	3 л/с
Геодезическая высота	15 м
Потери на трение трубопровода	8 м
Расход резервного насоса (Q2)	0 л/с
Размер для	Насосы
Допустимое снижение параметра	0 %
Темп. рабочей среды <= 40 ?	Да

**Выберите тип установки**

Сохранить как... Загрузить... < Назад Далее > Начать подбор Закрыть

**Grundfos рекомендует:**

**2 SEG.40.26.2.50B**  
 Номер изделия: 96075913, Цена: По требованию  
 Общий: По требованию

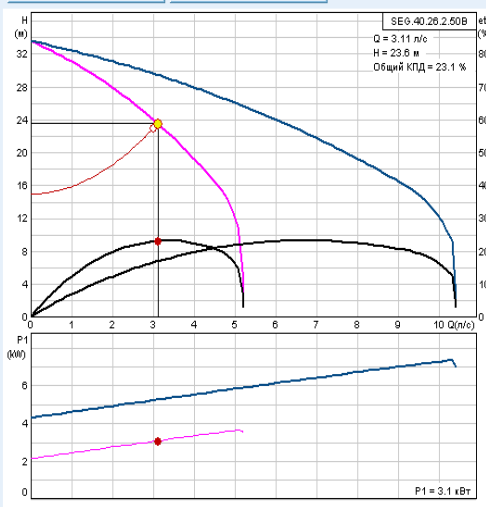
**Монтаж:**  
 Макс. температура окружающей среды: 40 град. C  
**Макс. температура окружающей среды**  
 Макс. рабочее давление: 10 бар  
 Стандартное соединение труб: DIN  
 Размер выходного патрубка насоса: DN 40  
 Допустимое давление, размер трубы: PN 10  
 Макс. глубина установки: 10 м

**Электрические характеристики:**  
 Количество полюсов: 2  
**Входная мощность при скорости 1.2-3:**  
 Входная мощность (P1): 3.7 кВт  
 Номинальная мощность (P2): 2.6 кВт  
 Частота сети электропитания: 50 Hz  
 Допустимое отклонение напряжения: + 10/-6 %  
 Тип пуска: прямой пуск  
 Номинальный ток: 6.1 А

Сохранить как... Загрузить... < Назад Далее > Начать подбор Закрыть

Кривая характеристики Изображение изделия Габаритный чертеж Схема подключения

Условия снятия рабочих хар-к Текущие установки



Сохранить как... Загрузить... < Назад Далее > Начать подбор Закрыть

Все данные Текст предложением Система Окончательные размеры

Параметр	Значение
Наименование продукции	SEG.40.26.2.50B
Жидкость:	Мин. температура жидкости: 0 град. C
	Макс. температура жидкости: 40 град. C
Предусмотр...	Тип рабочего колеса: Система с режущим механизмом
	Тип первичного торцового у... SIC/SIC
Данные на шильде:	PA-I
Материалы:	Материал, корпус насоса: Чугун
	EN-JL1030 DIN W.-Nr.
	Материал, рабочее колесо: Чугун
	EN-JL1030 DIN W.-Nr.
Материал:	Материал, прокладки: SIC/SIC
Монтаж:	Макс. температура окружаю... 40 град. C
Макс. темп...	Макс. рабочее давление: 10 бар
	Стандартное соединение тр... DIN
	Размер выходного патрубка ... DN 40
	Допустимое давление, разм... PN 10
	Макс. глубина установки: 10 м
Электриче...	Количество полюсов: 2
Входная м...	Входная мощность (P1): 3.7 кВт
	Номинальная мощность (P2): 2.6 кВт
	Частота сети электропитания: 50 Hz
	Допустимое отклонение нап... 10/-6 %
	Тип пуска: прямой пуск
	Номинальный ток: 6.1 А
	Номинальный ток при нулев... 2.8 А

О сервисе... Закрыть

Рисунок 2.3 Приклад вибору насосу для відведення стічних вод

## РОЗДІЛ 3 АВТОМАТИЗАВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОЧИСНИМИ СПОРУДАМИ

### 3.1 Особливості технології керування насосними установками очисних мереж котеджного містечка

Найважливішими споживачами електроенергії в системах водовідведення та водопостачання є насосні установки, які найчастіше розглядаються як групові споживачі, де одночасно можуть працювати кілька насосних агрегатів (НА), включених паралельно або послідовно в загальну трубопровідну систему. Такі системи характеризуються значним числом різних чинників, а саме: наявністю протитиску (статичного напору), гідродинамічного опору, який залежить від фізичних властивостей переміщуваної рідини, матеріалу трубопроводу, різних умов гідротранспортування й т. ін. Електропривод насосних установок – асинхронний або синхронний переважно з незмінною швидкістю обертання робочого колеса насоса. Через недоліки проектування й експлуатації електропривода коефіцієнт завантаження багатьох машин не перевищує 50%, що вказує на необхідність зниження встановленої потужності двигунів. Режим роботи насосної установки (НУ) доцільно змінювати внаслідок змінного характеру роботи споживача, що залежить від технологічних умов функціонування підприємств, змінного в часі графіка водоспоживання.[59.78]. На практиці знаходять застосування різні методи регулювання параметрів НУ: дроселювання потоку робочого середовища засувкою, ступінчате регулювання, байпасування, які супроводжуються непродуктивними втратами потужності, низькими значеннями ККД насосних агрегатів, перевитратами рідини .

Надійність устаткування НУ - найважливіший показник, який визначає технічну досконалість технологічного об'єкту. Сучасні насосні станції являють собою системи з низькою керованістю параметрів через слабкий взаємозв'язок режимів роботи насосної установки з технологічним процесом, відсутність ефективних засобів керування електроприводами насосів і

запірно-регулюючої арматури особливо в аварійних режимах, що призводить до підвищених динамічних навантажень у гідродинамічній системі, виникнення гідроударів, передчасного виходу з ладу технологічного устаткування, нерационального енергоспоживання тощо.

У зв'язку з цим, перспективним та важливим питанням є розроблення раціональних систем електроприводів насосів, енергоресурсозберігаючих технологій керування та гідрозахисту насосних комплексів, що дозволить підвищити надійність, енергоефективність, економічність НУ.

Підвищення керованості НУ важливо в таких напрямках: при контролі й керуванні тиском і продуктивністю в гідросистемі, оптимізації енергетичних режимів роботи турбомеханізмів, керуванні процесами, які протікають у ході розвитку наслідків аварійного відімкнення насосів, різкому закритті клапанів і т. ін. В останньому випадку зниження післяаварійних наслідків може бути досягнуте за рахунок використання наявних або створюваних керуючих технічних засобів як самого електропривода, так і елементів комунікаційної мережі, що безпосередньо пов'язано з керуванням енергопроцесами й формуванням відповідних впливів на об'єкти гідротранспортної системи. Так, при раптовому відімкненні електроенергії, яке призводить до можливого реверсу рідини й зміни частоти обертання насосів, система електропривода повинна мати властивості перетворення гідравлічної енергії в електричну для керування процесом протікання аварійного режиму. Однак, ці можливості залежать від ряду чинників: характеристик насосних агрегатів, властивостей і параметрів гідродинамічної мережі, характеристик трубопровідної арматури і т. ін. Керованість системи безпосередньо пов'язана з процесом споживання (генерації) енергії. Втрата керованості, зміна параметра, що характеризує керованість - фізичні умови, які супроводжуються передачею енергії від джерела до двигуна, а далі до технологічного механізму або від механізму через двигун, перетворювальний пристрій - до джерела живлення. З одного боку, це дає пояснення безпосереднього зв'язку енергопроцесів з поняттям керованості, а з іншого

боку - методи оцінки енергетичних режимів або їх відповідна модифікація дозволяє визначити параметри керованості електромеханічної системи.

Аналіз проведених досліджень показав, що зниження керованості, як правило, відбувається через певне поєднання характеристик устаткування, найчастіше через наявність зон нечутливості, різного роду нелінійностей і т. ін. При дослідженні керованості електромеханічних систем необхідно знати енергетичні параметри в ідеальній системі (за відсутності найбільш характерних нелінійностей) і визначати режим енергоспоживання в системі з тими само параметрами за наявності нелінійностей, які відображують специфіку роботи технологічного механізму. Порівнюючи процеси споживання енергії в обох аналізованих випадках, можна оцінити керованість системи. При цьому керуючі впливи в ідеальній і нелінійній системах повинні бути однакові за амплітудою постійної складової, та за амплітудою й частотою змінної. Для аналізу енергетичних режимів електромеханічних систем перспективним є використання апарату миттєвої потужності - напрямку, який активно розвивається в електромеханіці для дослідження енергопроцесів та ідентифікації параметрів різних електротехнічних і електромеханічних пристроїв.

Проведений аналіз втрат потужності, що включає втрати в двигуні та в перетворювальному пристрої, для двох варіантів регульованого ЕП: системи з тиристорним регулятором напруги і системи з перетворювачем частоти, показав, що застосування системи регульованого електроприводу у групових насосних установках водопостачання економічно й енергетично вигідніше через наявність значних втрат енергії в перетворювальних пристроях (до 5%) у зоні швидкостей близьких до номінальної.

Для ефективної роботи електроприводів НУ виконувані ними технологічні процеси повинні забезпечуватися за оптимального керування.

Оптимізація системи керування електроприводом у загальному випадку складається з вирішення двох взаємопов'язаних завдань:

- 1) визначення оптимальних в певному значенні (максимальна

швидкодія, мінімальні втрати енергії, мінімальні динамічні навантаження і т. ін. ) законів зміни керованих змінних (однієї або декількох) і формування пропорційних цим змінним оптимальних задаючих дій;

2) забезпечення відтворення з найменшою похибкою керованими змінними задаючих дій.

Перше завдання належить до оптимізації за режимом управління, друге – до оптимізації за перехідними процесами.

Для вирішення першого завдання використовуються пристрої, які реалізуються на програмованих мікроконтролерах, формуючих керівні дії, що змінюються в часі пропорційно зміні за оптимальними заданими законами вихідних координат системи. Ці пристрої називають задаючими моделями (ЗМ)

Відомі задаючі пристрої (моделі) працюють в автономному режимі, під яким розуміється відсутність зворотного впливу дійсних керованих змінних на формування дій, які управляють. Використання ЗМ дає можливість в системі комбінованого по задаючій дії управління забезпечити оптимізацію електромеханічної системи по перехідних процесах, якщо відома математична модель об'єкту з системою автоматичного регулювання, і параметри ланок не змінюються в процесі роботи .

Проте для більшості електромеханічних систем електропривода змінного струму математична модель електричної частини електромеханічної системи може бути отримана лише приблизно.

Для таких електромеханічних систем найефективнішим є використання інтелектуальних систем автоматичного управління, основу яких складають фаззі - регулятори (контролери). Приклад реалізації фаззі - управління наведений на рис. 3.1.

У прикладі як вхідна змінна використовується різниця  $x$  між заданим і реальним значенням керованої змінної процесу. Ця різниця спільно з її похідною за часом та інтегралом по заданому інтервалу часу передається в систему фаззі - управління як три вхідні змінні. Змінна для корекції

контрольованого сигналу виводиться на основі інтеграції вихідної змінної системи фаззі - управління.

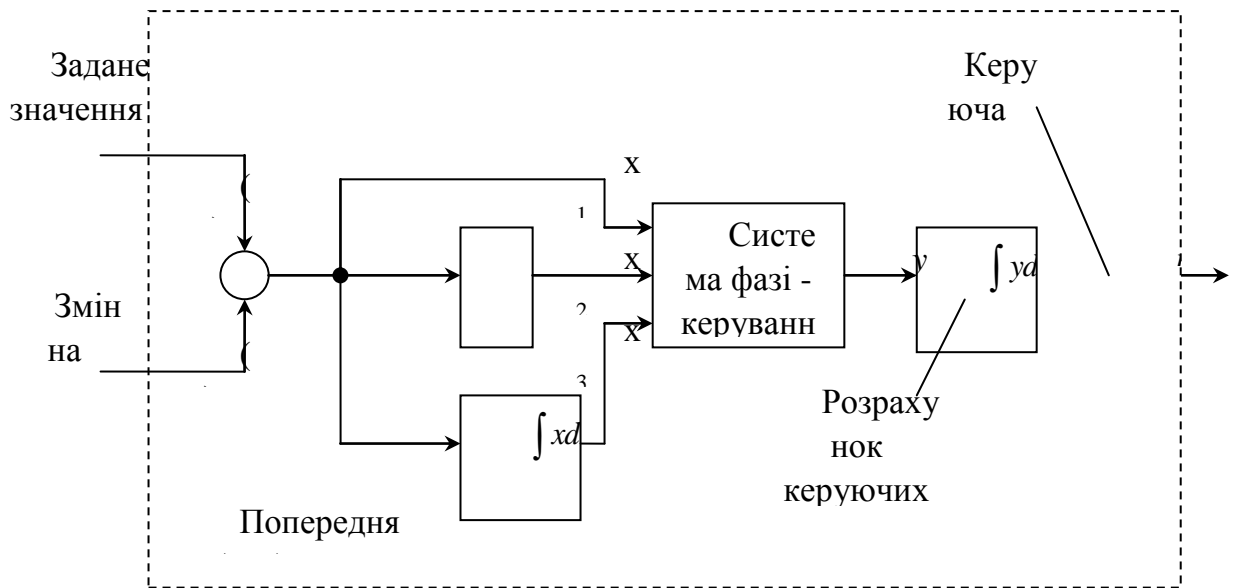


Рисунок 3.1 – Загальна структура системи фаззі – керування

Характерною особливістю ЗМ є формування на виході не лише оптимального сигналу пропорційного заданій діаграмі керованої змінної (швидкості), але й її похідних та інтегралу, тобто сигнали  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  є виходами ЗМ.

Оскільки стає можливим подавати на вхід системи фаззі-управління не лише сигнал помилки по основній входній дії, але і по похідній та інтегралу, то необхідність в ПІД - регуляторі відпадає. Стає можливим використовувати три паралельні контури управління, що забезпечить високу динамічну точність відпрацювання задаючих дій.

Являють інтерес для електропривода системи, в яких фаззі-керування використовується для корекції параметрів традиційного регулятора залежно від поточного значення помилки регулювання. Типова структура контролера такого типу наведена на рис. 3.2.

Якщо в структурі регулятора на нижньому рівні ієрархії використовуються модифікації традиційних ПІД-регуляторів, то покращуються функціональні і динамічні характеристики виконавчого рівня, але не розв'язуються питання інтелектуалізації його поведінки.

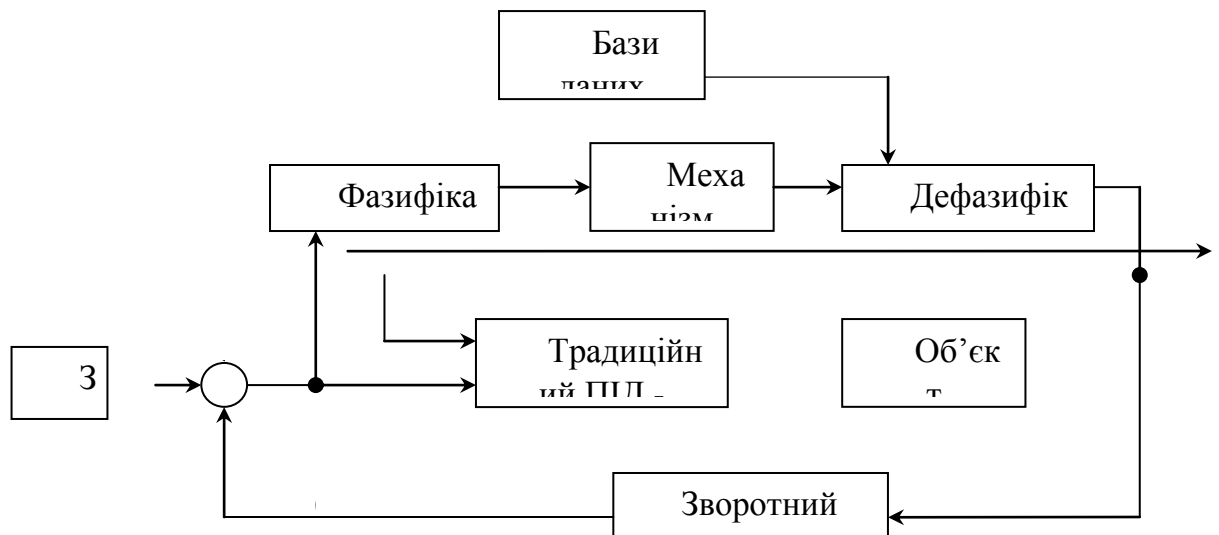


Рисунок 3.2 – Типова структура фаззи – регулятора

Зміна способів формування бази даних шляхом її ускладнення, наприклад, з урахуванням вагових коефіцієнтів за нейромережевою технологією, дає можливість підвищити рівень інтелектуальності.

При такому підході до проектування фаззи-регуляторів основне утруднення створює процес вибору лінгвістичної апроксимації функціональних і динамічних характеристик об'єкту управління і відповідних функцій приналежності.

### 3.2 Розроблення моделі на базі нечіткої логіки для керування установками водовідведення

В нечітких контролерах мінімальна конфігурація, тому вони називаються простими нечіткими контролерами. Такі контролери мають два нечіткі входи - помилка регулювання і приріст помилки за інтервал дискретності за часом. Після масштабування входи мають вигляд:

$$GE \cdot e(nT) = GE \cdot (y_3 - y(nT)); \quad (3.1)$$

$$GR \cdot r(nT) = GR \cdot (e(nT) - e(nT - T)), \quad (3.2)$$

де  $GE$  та  $GR$ - вагові коефіцієнти для помилки  $e(nT)$  і прирости  $r(nT)$  відповідно;  $y_3$  - задане значення керованої змінної конкретного технічного процесу;  $y(nT)$  - дійсне значення вихідної змінної у момент часу  $nT$ .



Масштабована помилка і приріст є нечіткими областями з вхідними змінними і функціями приналежності  $\mu$ , показаними на рис.5.3,а.

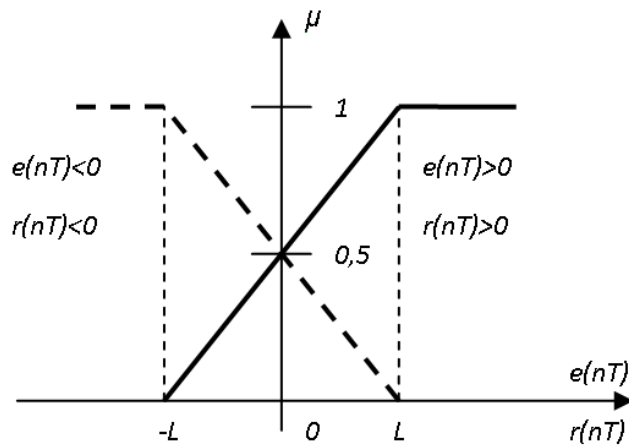


Рисунок.3.3,а - Масштабована помилка і приріст

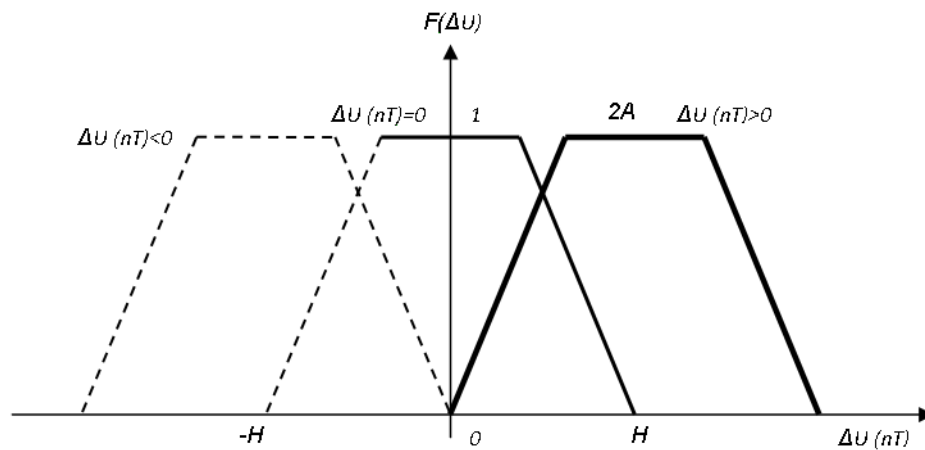


Рисунок 3.3,б - Функції приналежності виходу нечіткогоконтролера

Всередині інтервалу  $(-L, L)$  значення функцій приналежності зростає (зменшується) лінійно. Поза цим інтервалом  $\mu$  приймає значення 0 або 1.

Для області значень  $e(nT) > 0, e(nT) < 0$  функції приналежності будуть відповідно дорівнювати одна одній:

$$\mu_e^+ = \frac{L + GE \cdot e(nT)}{2L}; \quad \mu_e^- = \frac{L - GE \cdot e(nT)}{2L}. \quad (3.3)$$

Так, для  $r(nT) > 0, r(nT) < 0$ :

$$\mu_r^+ = \frac{L + GR \cdot r(nT)}{2L}; \quad \mu_r^- = \frac{L - GR \cdot r(nT)}{2L}. \quad (3.4)$$

ВИДНО, ЩО

$$\mu_e^+ + \mu_e^- = 1; \quad \mu_r^+ + \mu_r^- = 1. \quad (3.5)$$

У системі управління з нечітким контроллером використовують чотири правила визначення знаку покрокового виходу контролера  $\Delta U(nT)$ :

$$\Delta U(nT) \begin{cases} > 0 & \text{если } e(nT) > 0, \quad r(nT) > 0; \quad (r_1) \\ = 0 & \text{если } e(nT) > 0, \quad r(nT) < 0; \quad (r_2) \\ = 0 & \text{если } e(nT) < 0, \quad r(nT) > 0; \quad (r_3) \\ < 0 & \text{если } e(nT) < 0, \quad r(nT) < 0; \quad (r_4) \end{cases}$$

Функції приналежності виходу нечіткого контролера представлені у вигляді трьох трапецій відповідно до прийнятих правил управління (рис.3.3,б): Н- координата центру тяжіння трапеції  $\Delta U(nT) > 0$ ; (-Н) - координата центру тяжіння трапеції  $\Delta U(nT) < 0$ ; 2А - верхня основа трапеції.

Форма трапеції визначається відношенням

$$\Theta = \frac{A}{H}; \quad (3.6)$$

яке повинне обмежуватися значенням

$$\Theta \leq 0.5; \quad (3.7)$$

Виходи позначені затемненими областями на рис.5.4, де  $\mu$  - значення функції приналежності, отримане за вхідними нечіткими множинами; площі затемнених ділянок трапецій визначаються формулами:

$$\left. \begin{aligned} S_M(\mu) &= \mu(2 - \mu + \mu \cdot \Theta)H; \\ S_L(\mu) &= \mu(1 + \Theta)H; \\ S_{DP}(\mu) &= 2\mu\Theta H; \\ S_{BP}(\mu) &= \mu(2\Theta + \mu - \mu \cdot \Theta)H; \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

Розглянемо чотири різні методи визначення вихідного сигналу контролера (табл.3.1)

Таблиця 3.1 - Методи визначення вихідного сигналу контролера

Метод активізації функції приналежності.	Визначення функції приналежності
$R_M$	$\mu \wedge F(\Delta U)$
$R_L$	$\mu \cdot F(\Delta U)$
$R_{DP}$	$\begin{cases} \mu, F(\Delta U) = 1 \\ F(\Delta U), \mu = 1 \\ 0, \mu < 1 \text{ та } F(\Delta U) < 1 \end{cases}$
$R_{BP}$	$0 \vee [\mu + F(\Delta U) - 1]$

Функції приналежності нечітких множин вихідної змінної контролера позначені  $F(\Delta U)$ .

Правила управління (r2) і (r3) дають дві функції приналежності  $\mu_{r2}$  і  $\mu_{r3}$  відповідні одній і тій само нечіткій множині  $\Delta U(nT) = 0$ . Для об'єднаної функції приналежності, використовуючи нечітку логіку «И», отримаємо:

$$\mu_{r2 \wedge r3} = \min((\mu_{r2} + \mu_{r3}), 1) = \mu_{r2} + \mu_{r3} \leq 1. \quad (3.9)$$

Для дефазікації вхідних нечітких множин скористаємося гравітаційним методом, згідно якому за вихідну змінну приймається координата центру тяжіння всіх площ функцій приналежності (рис.3.4).

Оскільки всі нечіткі області є симетричними відносно їх центрів тяжіння (Н, 0, -Н), то за цими координатами може бути розрахована координата глобального центру тяжіння. Таким чином, масштабована вихідна змінна буде дорівнювати:

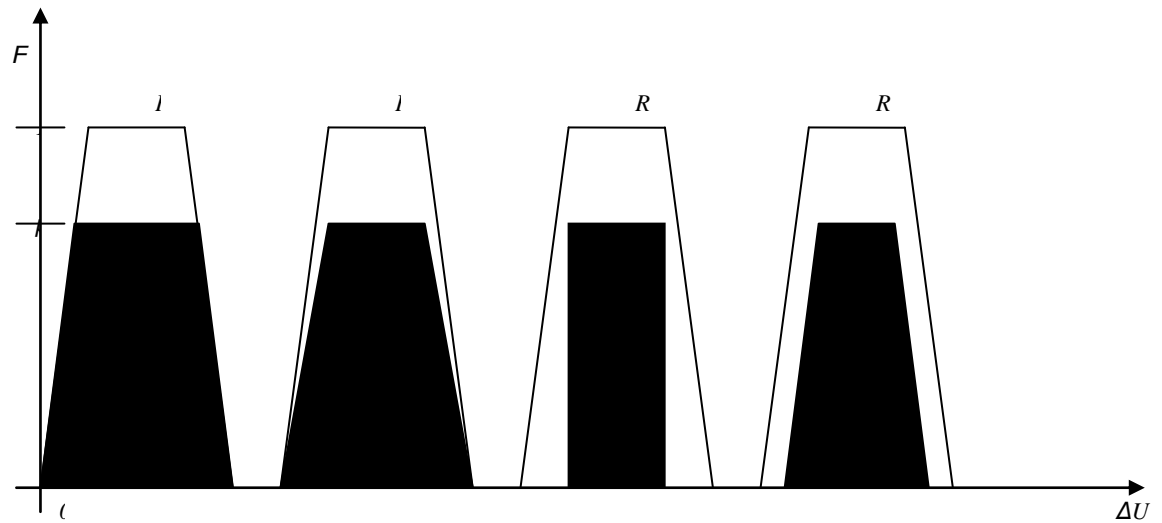


Рисунок 3.4 – Чотири різні виходи сигналу

$$\begin{aligned}
 GU \cdot \Delta U(nT) &= GU \frac{-H \cdot S(\mu_{r1}) + 0 \cdot S(\mu_{r2}, \mu_{r3}) + H \cdot S(\mu_{r4})}{S(\mu_{r1}) + S(\mu_{r2}, \mu_{r3}) + S(\mu_{r4})} = \\
 &= GU \cdot \Delta U(nT) \frac{H \cdot (S(\mu_{r4}) - S(\mu_{r1}))}{S(\mu_{r1}) + S(\mu_{r2}, \mu_{r3}) + S(\mu_{r4})},
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

де  $S(\mu_{r4})$  та  $S(\mu_{r1})$  - розраховані за формулами (3.8) площі активної частини функцій приналежності  $\mu_{r4}$  та  $\mu_{r1}$  відповідно для областей  $\Delta U(nT) > 0$  та  $\Delta U(nT) < 0$ ;  $S(\mu_{r2}, \mu_{r3})$  - площа відповідна області  $\Delta U(nT) = 0$  і  $(r_2)$  та  $(r_3)$  правилам управління, з урахуванням отриманої згідно (5.9) об'єднаної функції приналежності  $\mu_{r2, r3}$ ;  $GU$  - ваговий коефіцієнт для змінної  $\Delta U(nT)$ .

Повний вихід нечіткого контролера

$$U(nT) = U(nT - T) + GU \cdot \Delta U(nT), \tag{3.11}$$

де  $U(nT - T)$  - значення вихідної змінної на попередньому інтервалі часу  $nT - T$ .

Визначимо структуру нечіткого контролера, використовуючи  $R_m$ -метод, для чого замінимо функцію приналежності у формулі  $S_m(\mu)$  функціями  $\mu_{ri}$ :

$$\mu_{r1} = \mu_r^+, \quad \mu_{r2} = \mu_r^-, \quad \mu_{r3} = \mu_e^-, \quad \mu_{r4} = \mu_e^-, \tag{3.12,a}$$

або

$$\mu_{r1} = \mu_e^+, \quad \mu_{r2} = \mu_e^+, \quad \mu_{r3} = \mu_r^+, \quad \mu_{r4} = \mu_r^-, \quad (3.13,б)$$

тобто знайдемо значення площ  $S(\mu_{ri})$ , для формули (5.11).

На підставі залежностей (3.3) та (3.4), якщо  $GR \cdot |r(nT)| \leq GE \cdot |e(nT)| \leq L$ , дефаззифікаційний алгоритм (3.11) для варіанту (3.13,а) набуває вигляду:

$$GU \cdot \Delta U(nT) = \frac{0.5H \cdot GU \cdot (A + B)}{(3 + \Theta)L^2 - (C + D)}, \quad (3.14)$$

де  $A = (1 + \Theta)L(GE \cdot e(nT) + GR \cdot r(nT))$ ;

$B = 0.5(1 - \Theta)((GE \cdot e(nT))^2 - (GR \cdot r(nT))^2)$ ;

$C = (1 + \Theta)L \cdot GE \cdot |e(nT)|$ ;

$D = 0.5(1 - \Theta)((GE \cdot e(nT))^2 + (GR \cdot r(nT))^2)$ ;

Підставивши у вираз (2.15) значення  $GU \cdot \Delta U(nT)$  з (3.14), отримаємо

$$\beta^M = \frac{0.5H \cdot GU \cdot (A_1 + B_1)}{(3 + \Theta)L^2 - (C + D)}, \quad (3.15)$$

Якщо абсолютні значення вимірних входів великі, фаззі – контролери, що використовують  $R_m, R_L, R_{DP}$  методи, виділяють досить сильні дії, що управляють, головним чином, через  $\beta^m, \beta^L, \beta^{DP}$  (максимальні дії, що управляють досягаються при  $GR^* / r(nT) = L$  та/або  $GE^* / e(nT) = L$ .)

Сильні регулюючі дії швидко зменшують помилку вихідного сигналу по відношенню до заданого значення. З іншого боку, коли абсолютні величини вимірних входів є малими, фаззі - контролери видають достатньо слабкі дії, що управляють, через відносно малі  $\beta^m, \beta^L, \beta^{DP}$  (мінімальні регулюючі дії мають місце, коли  $GR^* r(nT) = 0$  та  $GE^* e(nT) = 0$ ).

Слабкі дії, що управляють, стримують зменшення помилки регулювання. Швидке зменшення помилки є основною вимогою до фаззі-контролерів.

У фаззі - контролерах, виконуючих  $R_{BP}$  метод виводу, максимальна регулююча дія не співпадає з умовою  $GR^* / r(nT) = L$  та/або  $GE^* / e(nT) = L$ . При даному виводі можливі режими при яких відбувається сильне

наростання сигналу, що управляє, коли відносно малі входи і, навпаки, здійснюється слабка дія при сильних входах тому використання даного методу виводу в практичних контролерах недоцільне.

### **3.3 Порівняння регулюючих дій фаззі-регуляторів з пропорційно-інтегральними регуляторами**

Лінійний ПІ-регулятор має постійні коефіцієнти пропорційної та інтегральної складової, тобто коефіцієнт підсилення не змінюється. Коефіцієнт підсилення нелінійного фаззі-регулятора постійно змінюється залежно від входу. Тому являє інтерес порівняти ці два типи контролерів. Нехай:

$$K_p^{PI} = GR \cdot \beta_{\min}; \quad (3.16)$$

$$K_I = GE \cdot \beta_{\min}; \quad (3.17)$$

де  $\beta_{\min}$  представляє  $b_{\min}^M; b_{\min}^L$ ; або  $b^{DP}$ .

Тоді коефіцієнти підсилення ПІ-регулятора прирівнюються до відповідних коефіцієнтів фаззі-регулятора, якщо  $GR \cdot r(nT) = 0$  та  $GE \cdot e(nT) = 0$ .

Коефіцієнти фаззі-регулятора завжди більші, якщо  $GR \cdot r(nT) \neq 0$  та  $GE \cdot e(nT) \neq 0$ .

Системи управління з нечіткими алгоритмами можуть перевершити за параметрами лінійні ПІ-регулятори, коли об'єкт створює нелінійний елемент і елементи із запізнюванням. У лінійних системах перевага фаззі-контролера буде незначною.

### **Порівнювальний аналіз практичного застосування контролерів управління заснованих на ПІД законі регулювання і на правилах нечіткої логіки (FuzzyLogic)**

В приладах, заснованих на ПІД - регулюванні керуюча дія (величина вихідного сигналу) формується на основі різниці виміряної фактичного тиску і тиску задання; вона складається з трьох компонентів: пропорційний (П), інтегральний (І) і диференціальний (Д). Пропорційний компонент визначає

лінійну залежність керуючої дії від різниці температури завдання і фактичної температури в середовищі. Інтегральний компонент забезпечує усунення статичної помилки (статична помилка — це «неточність» досягнення температури завдання, яка неминуче виникає при формуванні управляючої дії з пропорційної компоненти). Диференціальна складова служить для прискорення реакції системи на зовнішні дії і зміни параметрів у заданні. При ідеальному налагодженні ПД - регулятора фактична температура під дією вихідного сигналу по експоненціальному закону наближається до температури завдання і чисельно їй дорівнює.

На практиці налагодження ПД - регуляторів укр. трудомістке. Як правило, воно містить розв'язання складних систем диференціальних рівнянь, які не завжди дають точні рішення. Це означає, що на практиці тиск завдання в таких системах досягатися не буде. Існує деякий інтервал тиску, в який потраплятиме фактичний тиск в процесі регулювання.

В регуляторах, заснованих на правилах нечіткої логіки, керуюча дія, так само, як і при ПД – регулюванні, формується на основі різниці виміряного фактичного тиску в середовищі і тиску завдання. Область значень тиску умовно поділяється на проміжки (як правило, на три). Серед цих інтервалів обов'язково існує інтервал, при потрапленні в який фактична температура вважається близькою до завдання, яка не потребує регулювання (зона нечутливості). В регуляторі реалізовані прості умовні правила, за якими, у разі, коли тиск потрапляє в один із проміжків, що не є зоною нечутливості, висилається регулюючий сигнал, відповідно даному інтервалу, який переводить тиск в системі в зону нечутливості. Ці умови можуть мати такий вигляд:

Якщо  $(T_{\max} \geq T - T_{\text{task}} > N_{\text{upper}})$ , то керуюча дія = X1;

Якщо  $(N_{\text{upper}} \geq T - T_{\text{task}} > N_{\text{bellow}})$ , то керуюча дія = 0;

Якщо  $(N_{\text{bellow}} \geq T - T_{\text{task}} > T_{\min})$ , то керуюча дія = X2;

де  $T_{\max}$ ,  $T_{\min}$  - максимально можливе і мінімально можливе значення тиску в системі;

$T, T_{\text{task}}$  — фактичний тиск і тиск задання відповідно;

$N_{\text{upper}}, N_{\text{bellow}}$  - верхня і нижня межі зони нечутливості;

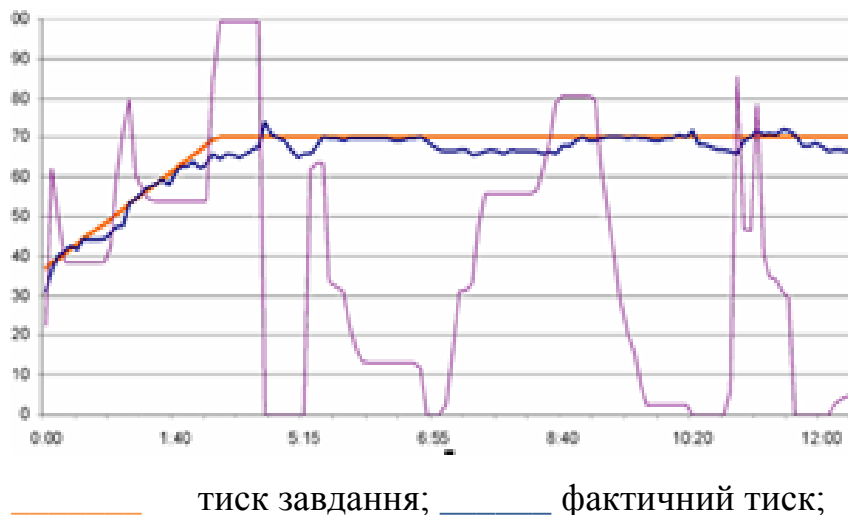
$X1, X2$  - величини керуючих сигналів.

Як зону нечутливості доцільно вибрати інтервал, в межах якого, відмінності між фактичним тиском і тиском задання не впливають на технологічний процес.

При відхиленні тиску від зони нечутливості передбачається подача коригуючого сигналу однієї величини у разі, коли вимірювання показали, що фактичний тиск нижчий за зону нечутливості, та сигналу іншої величини, якщо тиск вищий. Відмітимо, що на практиці регулювання може поєднувати в собі принципи правил нечіткої логіки і ПІД - регулювання. Можливий такий випадок: регулювання відбувається за правилами нечіткої логіки, але існує інтервал, при потраплянні в який керуюча дія формується на основі ПІД - регулювання.

Розглянемо переваги регуляторів, заснованих на правилах нечіткої логіки. Процес налагодження ПІД - регулятора більш трудомісткий для систем з параметрами, що змінюються, і сам процес добре вивчений, але погано формалізований. У разі застосування регуляторів, заснованих на правилах нечіткої логіки, він стає інтуїтивно зрозумілим і нескладним.

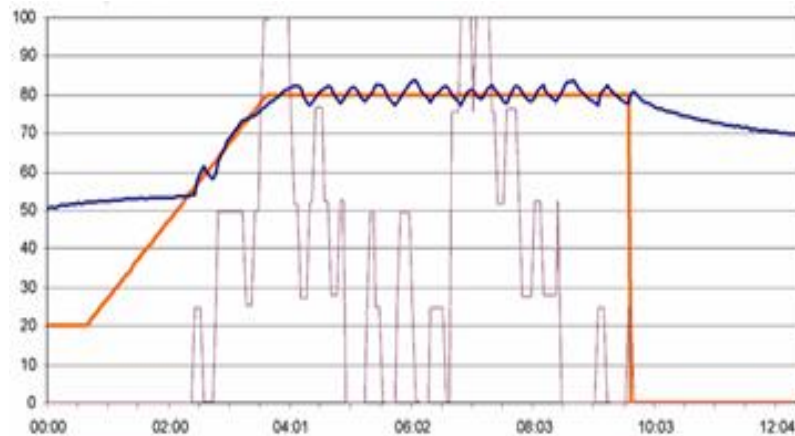
Графіки, які характеризують роботу регулятора на основі правил нечіткої логіки і ПІД – регулювання.





переміщення засувки

Рисунок 3.5 - ПД – регулювання



тиск завдання; фактичний тиск;

переміщення засувки

Рисунок 3.6 - регулювання на FuzzyLogic

Як видно з графіків, якість роботи регуляторів, заснованих на FuzzyLogic не поступається якості ПД-регуляторів.

В регуляторах, для підключення ЛОС регулювання подачі та тиску відбувається за рахунок переміщення вгору або вниз засувки на трубопроводі. В регуляторах, заснованих на FuzzyLogic, діє така функціональна схема:

Якщо  $(T_z - T) < 0$  І  $\text{abs}(T_z - T) > \text{NZup}$ , то  $Y = (-1) \cdot t \cdot T_p$ ;

Якщо  $\text{NZdown} < \text{abs}(T_z - T) < \text{NZup}$ , то  $Y = (-1) \cdot t \cdot T_p$ ;

Якщо  $(T_z - T) > 0$  І  $\text{abs}(T_z - T) < \text{NZdown}$ , то  $Y = 0$ ;

Якщо  $(T_z - T) > 0$  І  $\text{abs}(T_z - T) < \text{NZdown}$ , то  $Y = t \cdot T_p$ ;

де  $T_z$  – тиск завдання;

$T$  – фактичний тиск;

$\text{NZdown}$ ,  $\text{NZup}$  - нижня і верхня межі зони нечутливості відповідно;

$Y$  - тривалість управляючого імпульсу (це час, у перебігу якого засувка переміщатиметься), секунд;

$t$  – час роботи сервопривода (тобто. максимальна тривалість імпульсу, який подається на засувку), секунд;

$T_p$  - значення, що визначає тривалість посланого імпульсу, в частках

від часу сервопривода;

(-1) - означає переміщення засувки вниз (тобто рух у бік закриття).

Процес налагодження таких регуляторів полягає в тому, щоб визначити час сервопривода і задати значення  $T_r$ . Наведемо графіки положення засувок при ПД - регулюванні і регулюванні на основі FuzzyLogic, що відносяться до виконання розглянутого вище завдання. Нульове положення засувки характеризує її повністю закритий стан. Положенню 100% відповідає повністю відкритий стан засувки.

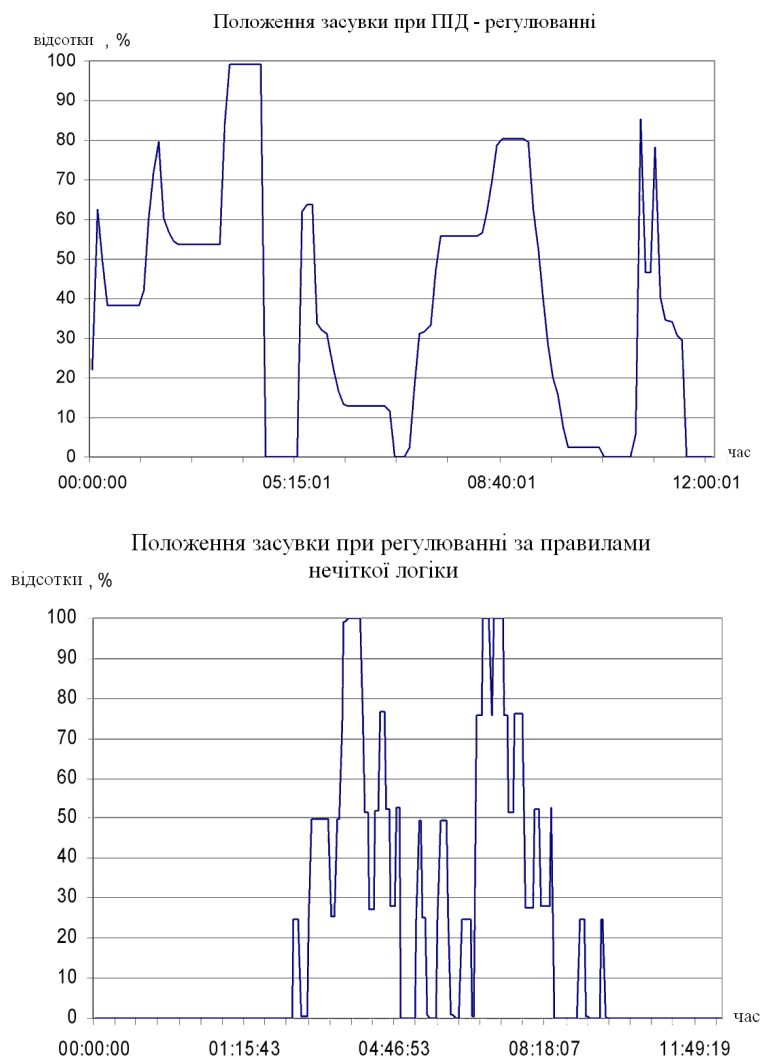


Рисунок 3.7 - Графіки положення засувок при ПД - регулюванні і регулюванні на основі FuzzyLogic

Дані, відображені на графіках, дозволяють обчислити кількість включень засувки і сумарний час переміщення засувки з одного положення в інше при ПД - регулюванні і регулюванні, заснованому на FuzzyLogic. Для

обчислень вибрані однакові проміжки часу роботи засувки. Якість протікання технологічного процесу в значній мірі залежить від правильного вибору і точності налаштування регуляторів, які вживаються в автоматизованих системах управління. На даний час режимами багатьох трубопровідних технологічних об'єктів управляють системи, що використовують двохпозиційне регулювання, або пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори чи їх модифікації [ 52,61,68]. Точність підтримання тиску та подачі на заданому рівні при двохпозиційному способі регулювання залежить від двох чинників: точність вимірювання тиску реєструючим приладом і граничної комутаційної здатності виконавчого елементу системи регулювання. Слід зазначити той факт, що гранична комутаційна здатність напівпровідникових систем регулювання напруги набагато вища, ніж у контакторної комутаційної апаратури. Тобто, в разі використання напівпровідникових систем регулювання напруги основним чинником, що впливає на точність підтримки температури, буде точність виміру температури реєструючим приладом, а в разі вживання контакторів – їх гранична комутаційна здатність. В разі використання класичних регуляторів спільно з регулятором напруги з'являється можливість плавного регулювання потужності, яка підводиться до електронагрівачів. У цьому випадку точність стабілізації тиску на заданому рівні, окрім точності вимірювань тиску реєструючим приладом залежить від налагодження регуляторів. Слід зазначити, що не всі необхідні змінні об'єкту управління піддаються статистичному аналізу через те, що їх вимірювання або утруднене, або взагалі неможливе і, отже, суттєво знижується адекватність моделі реальному процесу.

Класичні ПІД-регулятори для формування сигналу управління використовують методи числової інтеграції і диференціювання вхідного сигналу. Проте у регуляторів з фіксованою структурою відсутня можливість обчислення сигналу управління з урахуванням нестационарності параметрів технологічного об'єкту. Формування сигналу управління в таких умовах стає

можливим при використанні регуляторів, реалізованих на основі теорії нечіткої множини. Більшість адаптивних систем управління організовуються на класичних регуляторах або з використанням еталонної моделі об'єкту управління. Таким чином, нечіткі регулятори використовують експертні знання (особливості регулюємого процесу) для управління об'єктом. Отже, для налагодження таких регуляторів немає необхідності створювати адекватну математичну модель об'єкту управління, досить лише знати принципи і особливості регулювання змінних об'єкту управління.

Реалізація системи регулювання тиску та подачі рідини на основі нечіткої логіки, структура якої наведена на рис. 5.8.

Сигнали значення  $t$  від часу, що формуються зовнішнім задатчиком, поступають на вхід блоку – 7 і знімаються експериментально шляхом контролю і при розімкненому контурі системи управління. При цьому сигнал  $I_{зад}$  завдання виконавчому механізму – 6 апроксимується виразом:

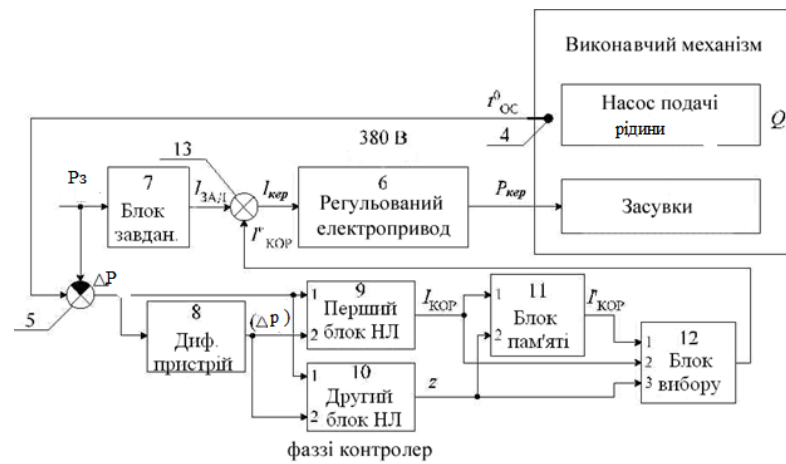
$$I_{зад} = \kappa_1 \cdot p_{\min} + \kappa_2 \cdot p_{\min} \quad \text{Де } \kappa_1, \kappa_2 - \text{масштабні коефіцієнти;}$$

$p_{\min}$  – мінімальний тиск.

Параметри першого блоку нечіткої логіки представлені на рис. 3-4 і в і в таблиці. 3.3.

Дана система регулювання температури функціонує таким чином.

Задане значення тиску  $t_{зад}^0$  поступає на вхід блоку - 7 і блоку - 5. Відповідно до приведеного вище вираження блок - 7 формує сигнал завдання  $I_{зад}$ , що поступає на суматор, - 13. Температура в гріючій камері - 1 печі вимірюється давачем - 4 і сигнал зворотного зв'язку  $t_{0oc}$  поступає на блок - 5, в якому обчислюється значення сигналу неузгодження  $\Delta t^0$  поточної температури  $t^0$  із заданим значенням  $t_{зад}^0$ . Сигнал  $\Delta t^0$  поступає на вхід диференціюючого пристрою - 8, на перші входи блоків - 9 і 10. У пристрої - 8 обчислюється швидкість  $(\Delta t^0)'$  зміни значень неузгодження  $\Delta t^0$  поточної температури. Сигнал  $(\Delta t^0)'$  поступає на другі входи блоків - 9 і 10.



4– датчик тиску, розміщений в трубопроводі , 5– блок порівняння , 7– блок завдання , 8– диференціюючий пристрій , НЛ– перший блок нечіткої логіки , 10–другий блок НЛ, 11– блок пам'яті, 12– ключ вибору, 13–суматор , 6–виконавчий механізм

Рисунок 3.8 - Структура системи нечіткого регулювання тиску на подачі з нечітким регулятором

Чисельні значення розузгодження  $\Delta p$  перетворюються блоком 9 в нечіткі сигнали: "мале негативне 1" (М.Н.1), "мале негативне 2" (М.Н.2), "велике негативне 1" (В.Н.1), "велике негативне 2" (В.Н.2), "мале позитивне 1" (М.П.1), "мале позитивне 2" (М.П.2), "велике позитивне 1" (В.П.1), "велике позитивне 2" (В.П.2), мал. 2, з різним ступенем приналежності  $\mu$ .

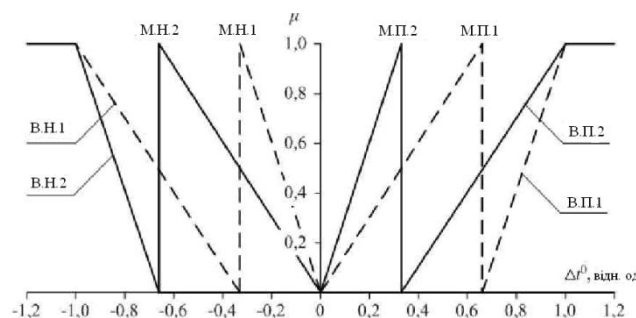
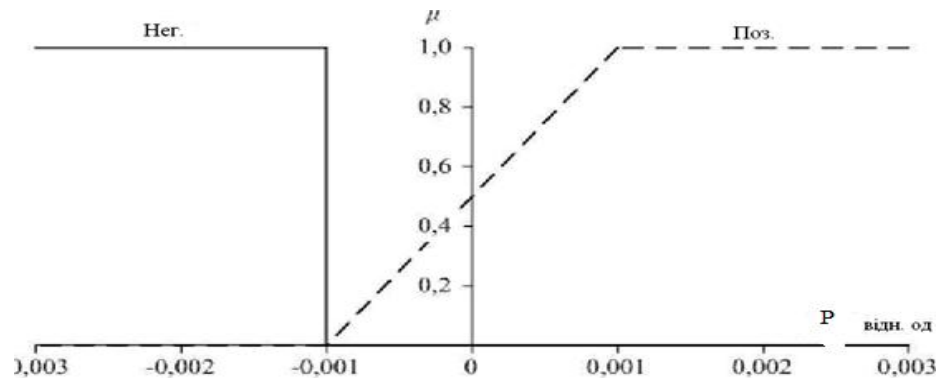


Рисунок 3.9 - Функції перетворення значення розузгодження поточної температури із заданою до нечіткого вигляду в першому блоці нечіткої логіки

Також перший блок нечіткої логіки перетворить швидкість зміни значення неузгодження ( $\Delta p$ )' залежно від числового значення в нечіткі

сигнали: "негативна" (Нег.) і "позитивна" (Поз.) (рис. 3.10) з різним ступенем



приналежності  $\mu$ .

Рисунок 3. 10 - Функції перетворення швидкості зміни значення розузгодження до нечіткого вигляду в першому блоці нечіткої логіки

Використовуючи отримані ступені приналежності нечітких значень  $\Delta t^0$  і  $(\Delta p)'$  згідно бази знань (таблиця 5.2) перший блок нечіткої логіки присвоює сигналу корекції збурення  $I_{\text{КОР}}$  одне з наступних нечітких значень: "великий позитивний" (В.П.), "середній позитивний" (С.П.), "малий позитивний" (М.П.), "малий негативний" (М.Н.), "середній негативний" (С.Н.), "великий негативний" (В.Н.).

Таблиця 3.2 - База знань першого блоку нечіткої логіки для формування сигналу корекції в нечіткому вигляді

		$\Delta p$							
		В.П.1	М. П.1	В.Н. .1	М. Н.1	В.П. .2	М. П.2	В.Н. .2	М. Н.2
$\Delta p$	Нег.	С.П.	М. П.	В.Н. .	С.Н. .	-	-	-	-
	Поз.	-	-	-	-	В.П. .	С.П. .	С.Н. .	М. Н.

$I_{\text{КОР}}$  першим блоком нечіткої логіки перетвориться в числове значення (рис.3.11) залежно від ступеня приналежності  $\mu$ .

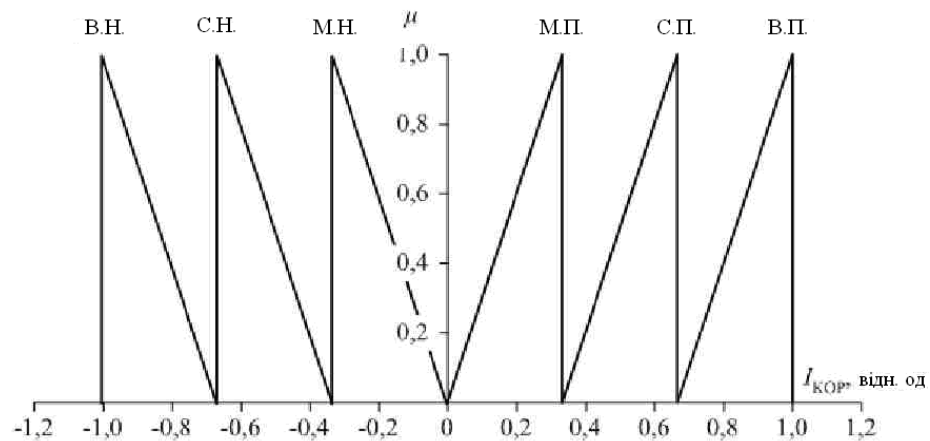


Рисунок 3. 11 - Функції перетворення сигналу корекції з нечіткого вигляду в числове значення в першому блоці нечіткої логіки

Поточний сигнал корекції збурення  $I_{\text{КОР}}$  поступає на перший вхід блоку пам'яті - 11 і на другий вхід ключа вибору - 12.

Числові значення неузгодження  $\Delta t^0$  перетворюються блоком - 10 в нечіткі сигнали: "негативне" (Нег.), "негативне нульове" (Н.Н.), "позитивне нульове" (П.Н.), "позитивне" (П.), рис. 3.12, з різним ступенем приналежності  $\mu$ .

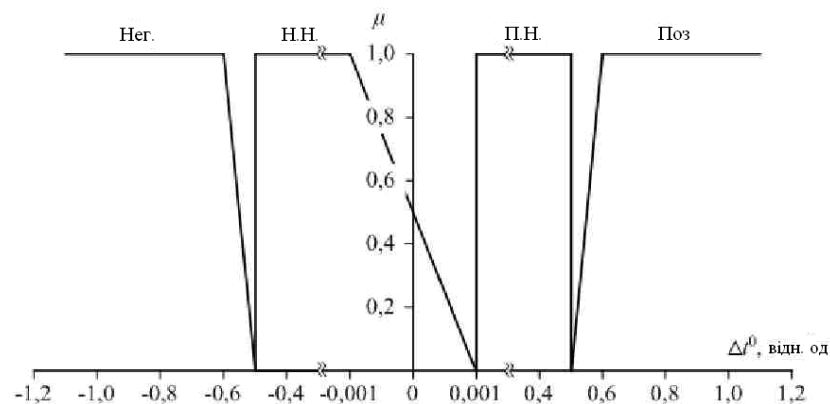


Рисунок 3. 12 - Функції перетворення значення неузгодження поточної температури із заданою до нечіткого вигляду в другому блоці нечіткої логіки

Також другий блок нечіткої логіки перетворить швидкість зміни значення розузгодження  $(\Delta p)'$  залежно від чисельного значення в нечіткі сигнали: "негативна" (Нег.) і "позитивна" (Поз.), рис.3.13, з різним ступенем приналежності  $\mu$ .

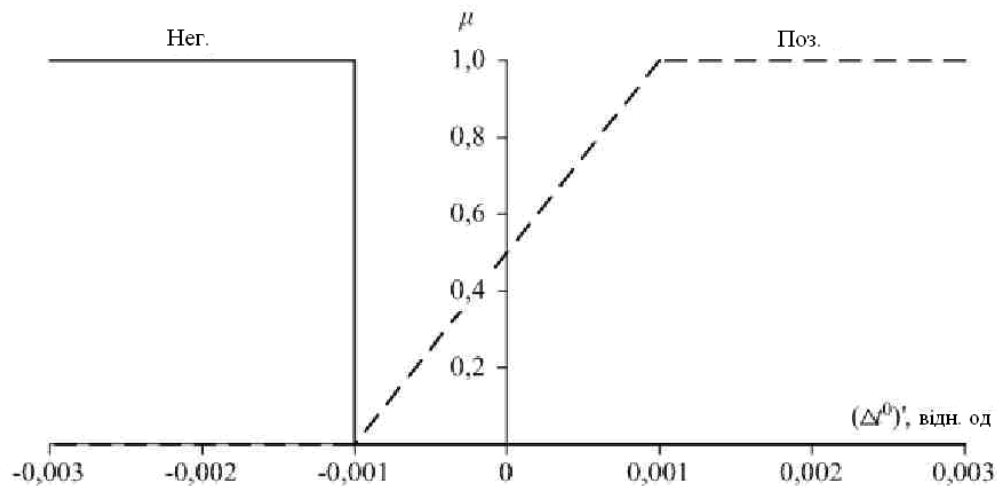


Рисунок 5.13 - Функції перетворення швидкості зміни значення неузгодження до нечіткого вигляду в другому блоці нечіткої логіки

Використовуючи отримані ступені приналежності нечітких значень  $\Delta p$  і  $(\Delta p)'$  згідно бази знань (таблиця. 5.3) другий блок нечіткої логіки присвоює вихідному сигналу зодне з наступних нечітких значень: "корекція" (Кор.) і "запам'ятовування" (Зап.).

Таблиця 3.3 База знань другого блоку нечіткої логіки для формування вихідного сигналу в нечіткому вигляді

		$\Delta p$							
		По з.	П.Н.	Н.Н.	Нег.	Поз.	П.Н.	Н.Н.	Нег.
$\Delta p$	Нег.	Кор.	Зап.	Кор.	Кор.	-	-	-	-
	Поз.	-	-	-	-	Кор.	Кор.	Зап.	Кор.

Отримане нечітке значення вихідного сигналу зв другого блоці нечіткої логіки перетвориться в числове значення (рис. 5.14) залежно від ступеня приналежності  $\mu$ .



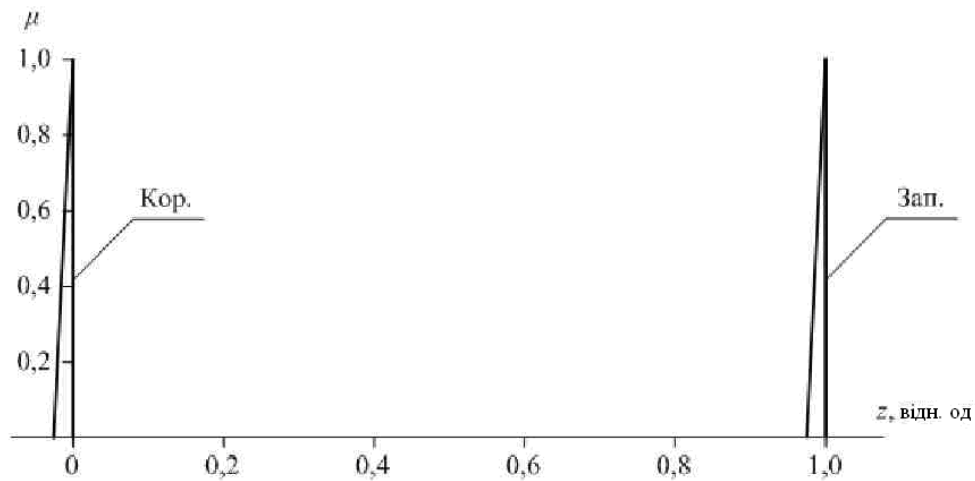


Рисунок 5.14- Функції перетворення сигналу корекції з нечіткого вигляду в числове значення в другому блоці нечіткої логіки

Вихідний сигнал зпоступає на другий вхід блоку пам'яті - 11 і на третій вхід ключа вибору - 12. Блок пам'яті залежно від зміни сигналу ззапам'ятовує поточне значення сигналу  $I_{\text{КОР}}$ , Рис. 5.15.

Алгоритми роботи блоку пам'яті - 11 і ключа вибору - 12 наведені на рис. 5.15 і 5.16 відповідно.

Вихідний сигнал  $I'_{\text{КОР}}$  блоку пам'яті - 11 поступає на перший вхід ключа вибору - 12, який залежно від величини сигналу зпривласнює вихідному сигналу  $I''_{\text{КОР}}$  значення сигналу  $I_{\text{КОР}}$  або  $I'_{\text{КОР}}$ , рис. 5.16.

Вихідний сигнал  $I''_{\text{КОР}}$  ключа вибору - 12 поступає на суматор - 13. Суматор - 13 формує сигнал задання виконавчому механізму - 6 згідно виразу

$$I_{\text{УПР}} = I_{\text{ЗАд}} - I''_{\text{КОР}}$$

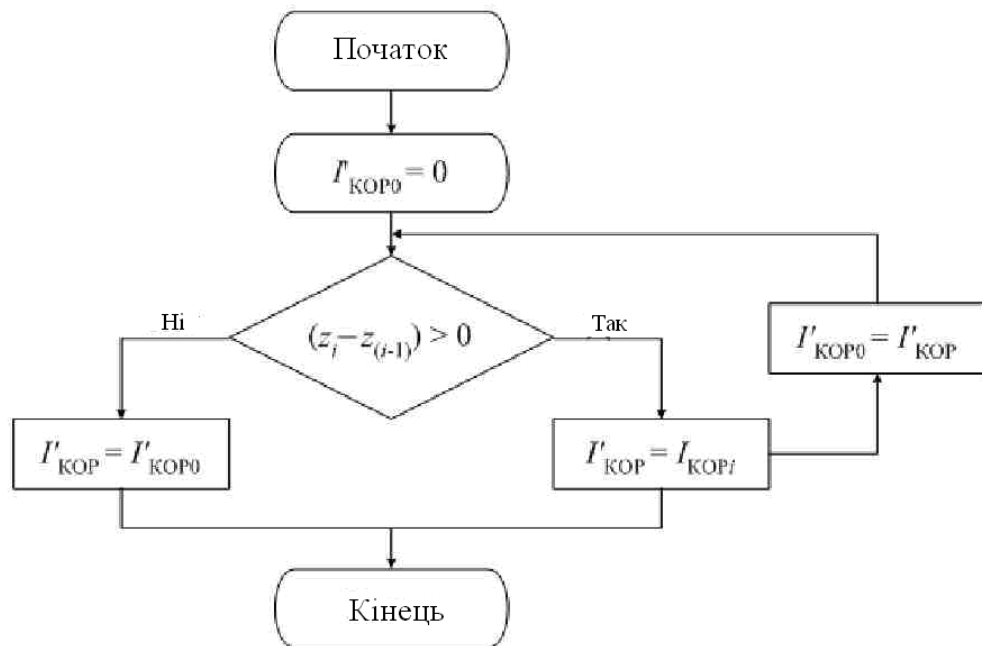


Рисунок 5.15- Алгоритм роботи блоку пам'яті.  $I_{КОР0}$  – початкове значення вихідного сигналу;  $I_{КОРi}$  – поточне значення вхідного сигналу;  $i$  – крок квантування

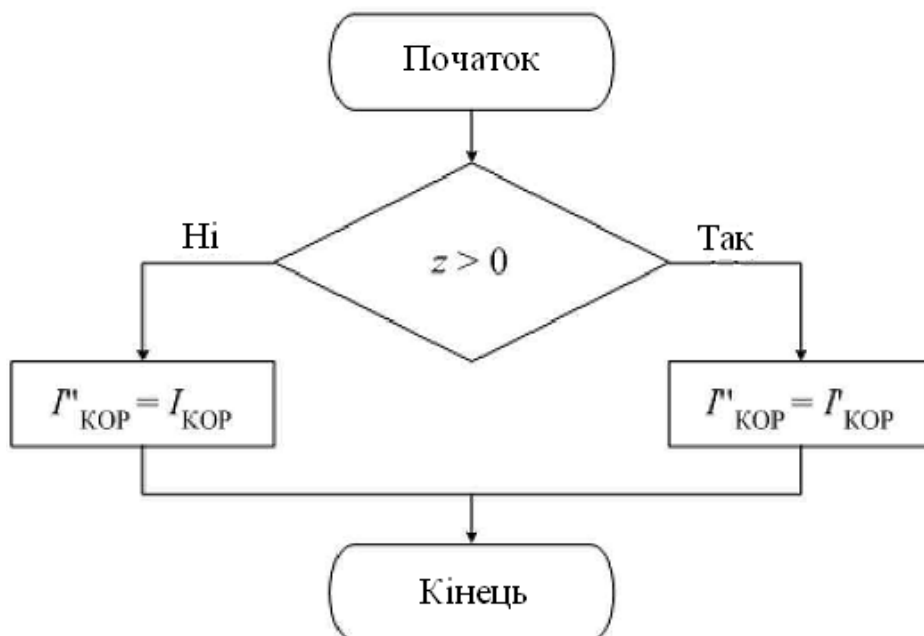


Рисунок 5.16 - Алгоритм роботи ключа вибору

Сигнал  $I_{УПР}$  поступає на вхід виконавчого механізму 6, який плавно змінює напругу, що поступає до електроприводу.

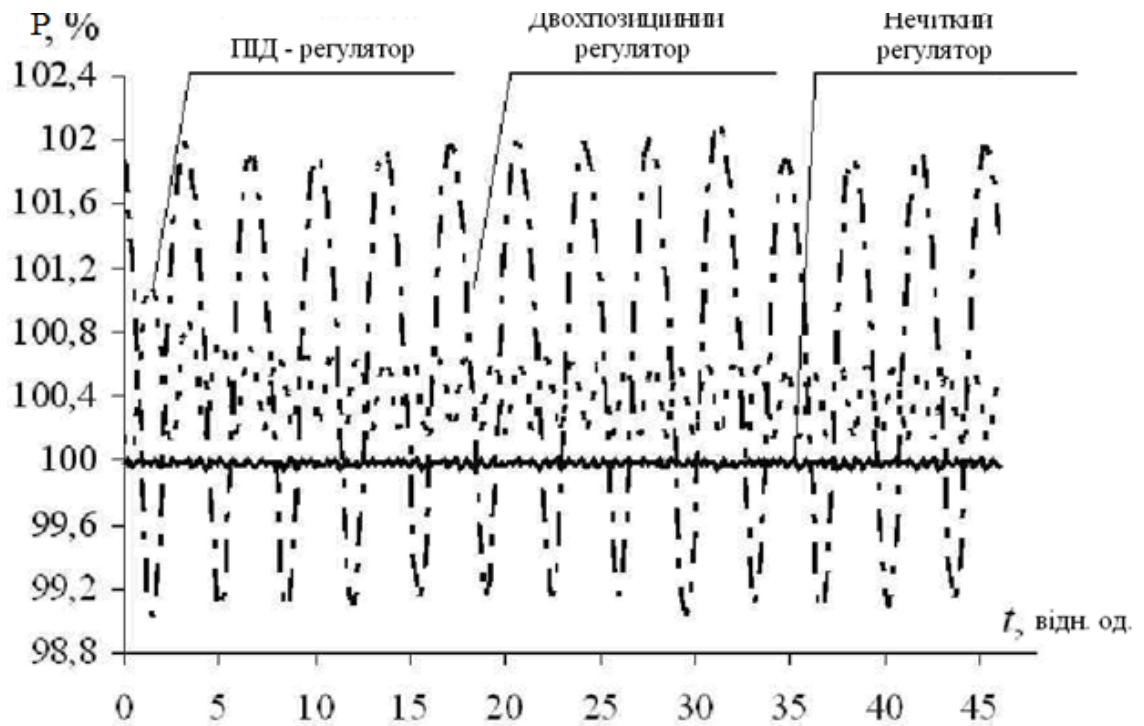


Рисунок 5.17- Порівняння систем регулювання тиску та подачі

Результати досліджень показали, що впровадження запропонованої системи завдяки вживанню алгоритмів нечіткого управління, розроблених спеціально для регулювання тиску та подачі, дозволить підвищити точність підтримання заданого тиску відносно двохпозиційного регулювання на 0,98 і 1,3 % для ПД- і нечіткого регуляторів і забезпечить економію енергоресурсів на 2,39 і 3,68 % відповідно.

### Висновки до 3 розділу

1. Найважливішими споживачами електроенергії в системах водовідведення та водопостачання є насосні установки, які найчастіше розглядаються як групові споживачі, де одночасно можуть працювати кілька насосних агрегатів (НА), включених паралельно або послідовно в загальну трубопровідну систему. Такі системи характеризуються значним числом різних чинників, а саме- наявністю протитиску (статичного напору), гідродинамічного опору, який залежить від фізичних властивостей переміщуваної рідини, матеріалу трубопроводу, різних умов гідротранспортування й т. ін.

2. У регуляторів з фіксованою структурою відсутня можливість обчислення сигналу управління з урахуванням нестационарності параметрів технологічного об'єкту. Формування сигналу управління в таких умовах стає можливим при використанні регуляторів, реалізованих на основі теорії нечіткої множини

3. Результати досліджень показали, що впровадження запропонованої системи завдяки вживанню алгоритмів нечіткого управління, розроблених спеціально для регулювання тиску та подачі, дозволить підвищити точність підтримання заданого тиску відносно двохпозиційного регулювання на 0,98 і 1,3 % для ПД- і нечіткого регуляторів і забезпечить економію енергоресурсів на 2,39 і 3,68 % відповідно.

## РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

### 4.1 Математична модель асинхронного двигуна

Маючи в своєму розпорядженні математичний опис процесів роботи асинхронного двигуна в статичному і динамічному режимах, можна отримати часові залежності струмів статора і ротора, визначити втрати в асинхронній машині, проаналізувати можливості їх зниження при використанні енергозберігаючих алгоритмів керування електроприводом в перехідних і сталих режимах і вибрати раціональні за електроспоживанням способи і закони керування асинхронними двигунами [29].

### 4.1 Математична модель асинхронного двигуна

Маючи в своєму розпорядженні математичний опис процесів роботи асинхронного двигуна в статичному і динамічному режимах, можна отримати часові залежності струмів статора і ротора, визначити втрати в асинхронній машині, проаналізувати можливості їх зниження при використанні енергозберігаючих алгоритмів керування електроприводом в

перехідних і сталих режимах і вибрати раціональні за електроспоживанням способи і закони керування асинхронними двигунами [29].

Для математичного опису процесів в асинхронній машині зазвичай використовуються диференціальні рівняння узагальненої двофазної машини змінного струму [30, 31, 32], отримані при загальноприйнятих припущеннях (без урахування втрат в сталі, вищих гармонік магнітного поля при рівномірному повітряному зазорі і напрузі живлення, які є симетричною системою синусоїдальних напруг). Передбачається також, що параметри роторного кола приведені до статорного контуру.

Вихідні рівняння, записані з використанням узагальнених просторових векторів в системі координат, що обертаються з довільною швидкістю  $\omega_k$  (за відсутності зовнішніх джерел напруги в роторних колах) мають вигляд:

$$\bar{U}_1 = \bar{I}_1 R_1 + \frac{d}{dt} \bar{\Psi}_1 + j\omega_k \bar{\Psi}_1;$$

$$0 = \bar{I}_2 R_2 + \frac{d}{dt} \bar{\Psi}_2 + j(\omega_k - \omega_E) \bar{\Psi}_2; \quad (4.1)$$

$$M = \frac{3}{2} p_{\Pi} L_0 J_m [\bar{I}_1 \cdot \bar{I}_2^*] + \frac{d}{dt} \bar{\Psi}_1 + j\omega_k \bar{\Psi}_1; \quad (4.2)$$

де  $\bar{U}_1$  - узагальнений вектор напруги статора,  $\bar{I}_1$ ,  $\bar{I}_2$  - узагальнені вектори струму відповідно статора, ротора,  $R_1$ ,  $R_2$  - активний опір обмотки відповідно статора, ротора,  $\bar{\Psi}_1$ ,  $\bar{\Psi}_2$  - узагальнені вектори потокозчеплення відповідно статора, ротора;  $\omega_k$  - електрична кутова швидкість обертання координатних осей;  $\omega_E$  - електрична кутова швидкість обертання ротора,

$$\omega_E = \omega p_{\Pi}, \quad (4.3)$$

де  $\omega$  - механічна кутова швидкість ротора;  $M$  - електромагнітний момент, створюваний двигуном;  $p_{\Pi}$  - число пар полюсів асинхронної машини,  $L_0$  - індуктивність намагнічуючого контуру,  $J_m$  - знак, який вказує на те, що береться тільки дійсна частина комплексу.

Для дослідження перехідних процесів система рівнянь (4.1) і рівняння (4.2) доповнюються рівнянням руху електроприводу:

$$M - M_C = \frac{J}{p_{\Pi}} \frac{d\omega_E}{dt}, \quad (4.4)$$

де  $M_C$  - момент статичного навантаження,  $J$  - приведений до валу сумарний момент інерції електроприводу,  $J = J_{\text{ш}} J_{\text{мех}}$ ;  $J_{\text{дв}}$  і  $J_{\text{мех}}$  - момент інерції двигуна і приведений до валу двигуна момент інерції механізму.

Система рівнянь (4.1), записана через проекції узагальнених векторів на ортогональні осі  $u, jv$  координатної площини, що обертається з довільною швидкістю  $\omega_K$ , має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} u_{1u} &= R_1 i_{1u} + p\psi_{1u} - j\omega_K \psi_{1pv}; \\ u_{1uv} &= R_1 i_{1v} + p\psi_{1v} - j\omega_K \psi_{1pu}; \\ 0 &= R_2 i_{2u} + p\psi_{2u} - j(\omega_K - \omega_E) \psi_{2v}; \\ 0 &= R_2 i_{2v} + p\psi_{2v} - j(\omega_K - \omega_E) \psi_{2u}; \end{aligned} \quad (4.5)$$

де  $p$  - оператор диференціювання.

У цьому випадку електромагнітний момент, що розвивається асинхронним двигуном, може бути визначений з виразу

$$M = \frac{3}{2} p_{\Pi} L_0 (i_{2u} i_{1v} - i_{1u} i_{2v}); \quad (4.6)$$

Раціональне значення  $\omega_K$  залежить від типу розв'язуваної задачі і, як правило, приймає одне з таких значень:  $\omega_K = 0$  (в цьому випадку прийнято позначати координатні осі  $(x, jy)$   $\omega_K = \omega_{0E}$  (координатні осі  $x, jy$ );  $\omega_K = \omega_E$  (координатні осі  $d, jq$ ) Тут  $\omega_{0E}$  - електрична кутова швидкість електромагнітного поля статора. Ця величина відповідає електричній швидкості холостого ходу. Зауважимо, що механічна кутова швидкість холостого ходу, вона ж - .. синхронна швидкість,  $\omega_0 = \omega_{0E}/p_{\Pi}$ .

Зазначимо, що, позначаючи кутову швидкість через  $\omega$  і вимірюючи її  $s^{-1}$ , найчастіше визначення «кутова» опускають й оперують терміном «швидкість».

Зв'язок між повним потокозчепленням статора  $\psi_1$  ротора  $\psi_2$ , головним потокозчепленням  $\psi_0$  і струмами статора  $i_2$  і ротора  $i_1$  ненасиченої асинхронної машини виражається наступним чином:

$$\begin{aligned}\bar{\Psi}_1 &= L_s \bar{I}_1 + L_0 \bar{I}_2; \\ \bar{\Psi}_2 &= L_r \bar{I}_2 + L_0 \bar{I}_1,\end{aligned}\quad (4.7)$$

де  $L_s = L_0 + L_{1\sigma}$  - повна індуктивність обмотки статора;  $L_{1\sigma}$  - індуктивність розсіювання обмотки статора;  $L_r = L_0 + L_{2\sigma}$  - повна індуктивність обмотки ротора;  $L_{2\sigma}$  - індуктивність розсіювання обмотки ротора.

Якщо врахувати, що  $\bar{I}_0 = \bar{I}_1 + \bar{I}_2$ , то вирази (4.7) можна записати в наступному вигляді:

$$\begin{aligned}\bar{\Psi}_1 &= L_{1\sigma} \bar{I}_1 + \bar{\Psi}_0; \\ \bar{\Psi}_2 &= L_{2\sigma} \bar{I}_2 + \bar{\Psi}_0,\end{aligned}\quad (4.8)$$

де  $\Psi_0 = L_0 \bar{I}_0$ ;  $L_{1\sigma} \bar{I}_1 = \bar{\Psi}_{\sigma 1}$ ;  $L_{2\sigma} \bar{I}_2 = \bar{\Psi}_{\sigma 2}$ ,  $\bar{\Psi}_{\sigma 1}$ ,  $\bar{\Psi}_{\sigma 2}$  - потокозчеплення розсіювання відповідно статора, ротора.

Запишемо вирази для потокозчеплень через проекції на осі комплексної площини:

$$\begin{aligned}\psi_{1u} &= \psi_{1u} + L_{1\sigma} i_{1u}; \\ \psi_{1v} &= \psi_{0v} + L_{1\sigma} i_{2v}; \\ \psi_{2u} &= \psi_{0u} + L_{2\sigma} i_{1u}; \\ \psi_{2v} &= \psi_{0v} + L_{2\sigma} i_{1v}; \\ \psi_{0u} &= L_0 i_{0u}; \\ \psi_{0v} &= L_0 i_{0v}.\end{aligned}\quad (4.9)$$

При необхідності врахування насичення доцільно використовувати наступну систему рівнянь:

$$\begin{aligned}\bar{\Psi}_1 &= \bar{\Psi}_0 + \bar{\Psi}_{\sigma 1}; \\ \bar{\Psi}_2 &= \bar{\Psi}_0 + \bar{\Psi}_{\sigma 2}; \\ \bar{\Psi}_0 &= L_0 (|\bar{I}_0|) \bar{I}_0; \\ \bar{I}_0 &= \bar{I}_1 + \bar{I}_2; \\ \bar{\Psi}_{\sigma 1} &= L_{1\sigma} \bar{I}_1; \\ \bar{\Psi}_{\sigma 2} &= L_{2\sigma} \bar{I}_2.\end{aligned}\quad (4.10)$$

В системі рівнянь (4.10) змінна індуктивність  $L_0(|\bar{I}_0|)$ , за допомогою якої враховується насичення двигуна по головному магнітному шляху, розраховується по кривій намагнічування:

$$L_0(|\bar{I}_0|) = \frac{\psi_0(|\bar{I}_0|)}{(|\bar{I}_0|)},$$

де  $\psi_0(|\bar{I}_0|)$  - нелінійна функція (характеристика намагнічування, яка визначає зв'язок між модулем  $|\psi_0|$  результуючого вектора головних потокотчеплень  $\psi_0$  і модулем  $|I_0|$  результуючого вектора намагнічуючих струмів  $\bar{I}_0$ .

У ряді випадків для обчислення індуктивності зручно використовувати вираз

$$L_0(|\bar{\Psi}_0|) = \frac{(|\bar{\Psi}_0|)}{I_0(|\bar{\Psi}_0|)}$$

де  $I_0(|\bar{\Psi}_0|)$  - зворотна по відношенню  $\psi_0(|\bar{I}_0|)$  нелінійна функція.

Наведені рівняння можуть бути використані для аналізу як перехідних (у цьому випадку система рівнянь асинхронної машини є нелінійною і може бути вирішена чисельними методами з використанням ЕОМ), так і усталених режимів.

Для аналізу усталених режимів при змінній частоті напруги живлення ( $f_1 \neq \text{const}$ ) приймемо в системі рівнянь (4.1) швидкість  $\omega_k = \omega_{0E} = 2\pi f_1$ , похідні приймемо рівними нулю, тоді отримаємо таку модель, що описує сталий режим роботи двигуна:

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 &= j\omega_{0E}\bar{\Psi}_1 + \bar{I}_1 R_1; \\ 0 &= \bar{I}_2 R_2 + j(\omega_k - \omega_E)\bar{\Psi}_2; \\ \bar{\Psi}_1 &= \bar{\Psi}_0 + \bar{\Psi}_{\sigma 1}; \\ \bar{\Psi}_2 &= \bar{\Psi}_0 + \bar{\Psi}_{\sigma 2}; \\ \bar{\Psi}_0 &= L_0(|\bar{I}_0|)\bar{I}_0; \\ \bar{I}_0 &= \bar{I}_1 + \bar{I}_2; \\ \bar{\Psi}_{\sigma 1} &= L_{1\sigma}\bar{I}_1; \end{aligned} \tag{4.11}$$



$$\begin{aligned}\bar{\Psi}_{\sigma 2} &= L_{2\sigma} \bar{I}_2. \\ M &= \frac{3}{2} p_{\Pi} \operatorname{Im}[\bar{\Psi}_0 \cdot \bar{I}_1]; \\ M &= M_{\text{C}}.\end{aligned}$$

На підставі рівнянь усталеного режиму побудуємо схему заміщення асинхронного двигуна при змінному значенні  $f_1$ . Для цього в рівняннях електричної рівноваги напруг виключимо результуючі вектори повних потокозчеплень обмоток статора  $\psi_1$  і ротора  $\psi_2$ . В отриманих рівняннях виразимо результуючі вектори головних потокозчеплень  $\psi_0$  і потокозчеплень розсіювання обмоток статора  $\psi_{1\sigma}$  і ротора  $\psi_{2\sigma}$  через результуючі струми відповідно  $\bar{I}_0, \bar{I}_1$  і  $\bar{I}_2$ . Після нескладних перетворень отримаємо рівняння такого вигляду:

$$\begin{aligned}\bar{U}_1 &= \bar{I}_1 R_1 + j\omega_{0E} L_{1\sigma} \bar{I}_1 + j\omega_{0E} L_0 \bar{I}_0; \\ 0 &= \bar{I}_2 \frac{R_2}{S} + j\omega_{0E} L_{2\sigma} \bar{I}_2 + j\omega_{0E} L_0 \bar{I}_0;\end{aligned}\tag{4.12}$$

де  $S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = \frac{\omega_{0E} - \omega_E}{\omega_{0E}}$  - ковзання,  $\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p_{\Pi}}$ ;  $\omega_{0E} = 2\pi f_1$

Системі рівнянь (4.12) відповідає схема заміщення асинхронного двигуна при змінній частоті напруги живлення, наведена на рисунку 4.1. У схемі заміщення враховано насичення асинхронного двигуна з допомогою змінного коефіцієнта  $L_0$  є функцією струму намагнічування  $|\bar{I}_0|$ .

Наведені в електромагнітних контурах ЕРС можна записати наступним чином:

$$\begin{aligned}\bar{E}_1 &= j\omega_{0E} \bar{\Psi}_1; \\ \bar{E}_0 &= j\omega_{0E} \bar{\Psi}_0; \\ \bar{E}_2 &= j\omega_{0E} \bar{\Psi}_2;\end{aligned}$$

Схема заміщення, наведена на рисунку 4.1 може використовуватися для аналізу усталених режимів асинхронного двигуна при частотному способі регулювання кутової швидкості.

У системах асинхронних електроприводів з регулюванням напруги першої гармоніки змінної напруги чи додаткового опору в роторі частота

напруги живлення залишається постійною і рівною номінальному значенню, тобто  $f_1 = f_{1\text{ном}}$  і  $\omega_{0E} = \omega_{0E.\text{ном}} = 2\pi f_{1\text{ном}}$ . Для цих випадків рівняння статичних режимів набувають наступний вигляд:

$$\begin{aligned}\bar{U}_1 &= \bar{I}_1 R_1 + j\bar{I}_1 X_1 + j\bar{I}_0 X_0; \\ 0 &= \bar{I}'_2 R'_2 + j\bar{I}_0 X_0 S + j\bar{I}'_2 X'_2 S;\end{aligned}\quad (4.13)$$

де  $X_1 = \omega_{0E.\text{ном}} L_{1\sigma}$ ;  $X'_2 = \omega_{0E.\text{ном}} L_{2\sigma}$ ;  $X_0 = \omega_{0E.\text{ном}} L_0$ ;  $X_1, X'_2$  - індуктивні опори розсіювання обмоток відповідно статора, ротора;  $X_0$  - індуктивний опір контуру намагнічування.

У рівняннях статичних режимів (4.13) за допомогою  $\bar{I}'_2, R'_2, X'_2$  позначені параметри ротора, наведені до параметрів обмотки статора, а вираз  $\bar{I}_0 X_0$  являє собою ЕРС контуру намагнічування:

$$\bar{E}_0 = j\bar{I}_0 X_0 = j\omega_{0E.\text{ном}} L_0 \bar{I}_0. \quad (4.14)$$

З урахуванням (4.14) система рівнянь (4.13) представлятиме собою систему рівнянь статичного режиму роботи асинхронного двигуна при  $f_1 = f_{1\text{ном}}$ , якому відповідає Т-подібна схема заміщення (рисунок 4.1).

Часто для спрощення аналізу статичних режимів використовують Г-подібну схему заміщення, для чого підключають контур намагнічування безпосередньо до затискачів напруги живлення, що не вносить суттєвих похибок у розрахунки. Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна в статичних режимах наведена на рисунок 4.2. У такій схемі струм  $I_0 = \frac{U_1}{X_0}$  залишається в процесі роботи двигуна постійним і не залежить від швидкості (ковзання) двигуна.

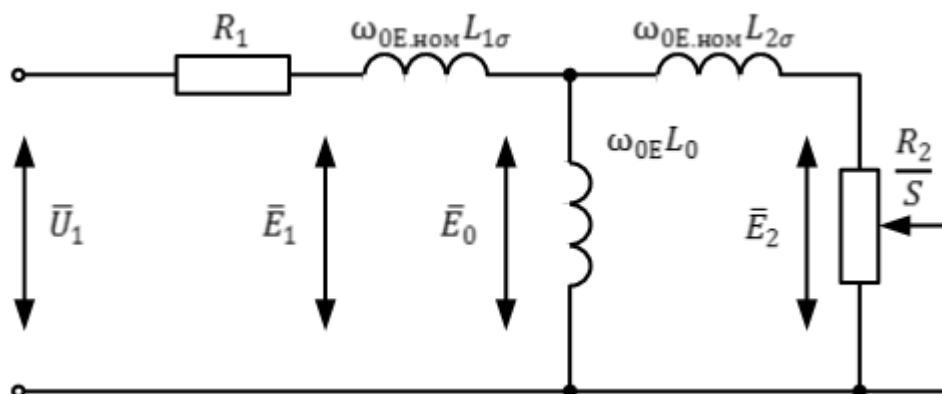


Рисунок 4.1 - Схема заміщення асинхронного двигуна при змінній частоті  
напруги живлення

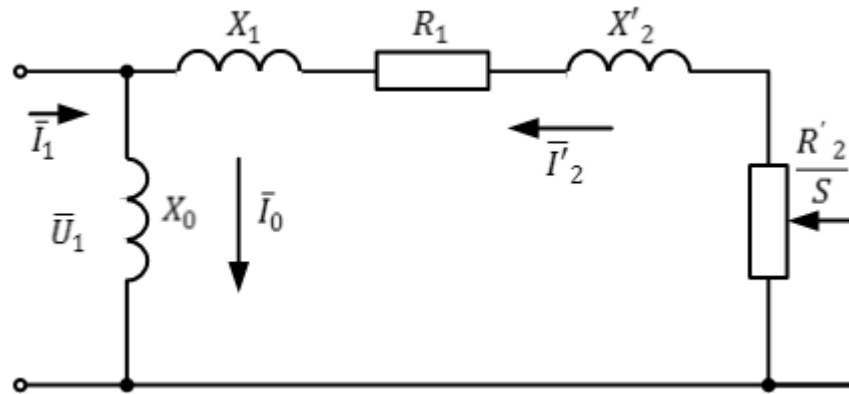


Рисунок 4.2 - Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна в  
статичних режимах

Наведені при  $f_1 = f_{1\text{ном}}$  рівняння статичних режимів (4.13) і схема заміщення (рисунок 4.2) можуть бути використані для дослідження властивостей і характеристик асинхронного електроприводу як при регулюванні напруги  $U_1$  підводиться до статора, так і при регулюванні додаткових опорів ротора  $R'_{2\text{дод}}$ . Це можна реалізувати в асинхронних двигунах з контактними кільцями, для чого в схемі заміщення замість  $R'$  потрібно використовувати значення  $R'_{2\Sigma} = R'_2 + R'_{2\text{дод}}$ . Для двигунів з короткозамкненим ротором  $R'_{2\Sigma} = R'_2$ . Тоді струм ротора

$$I_2 = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_{2\Sigma}}{s^2}\right) + (X_1 + X'_2)^2}}. \quad (4.15)$$

При відомому струмі ротора можна визначити статорний струм:

$$I_1^2 = I_0^2 + (I_{1\text{ном}}^2 - I_0^2) \frac{(I'_2)^2}{(I'_{2\text{ном}})^2}, \quad (4.16)$$

де  $I_{\text{ном}}$   $I'_{2\text{ном}}$  відповідно номінальний струм статора, наведений номінальний струм ротора.

Вираз (4.16) може бути перетворено наступним чином:

$$I_1^2 = I_0^2 + (I_{1\text{ном}}^2 - I_0^2) \frac{MS}{M_{\text{ном}} S_{\text{ном}}}, \quad (4.17)$$

де  $M_{\text{ном}}$  і  $S_{\text{ном}}$  - відповідно номінальний момент і ковзання двигуна.  
Момент двигуна

$$M = \frac{3U_1^2 R'_{2\Sigma}}{\omega_0 S [(R_1 + R'_{2\Sigma})^2 + (X_1 + X'_{2\Sigma})^2]}. \quad (4.18)$$

Званий критичним максимальний момент двигуна

$$M_k = \frac{3U_1^2}{2\omega_0 [R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_{2\Sigma})^2}]}. \quad (4.19)$$

Критичне ковзання, відповідне критичного моменту,

$$S_k = \pm \frac{R'_{2\Sigma}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_{2\Sigma})^2}}. \quad (4.20)$$

У формулах (4.19) і (4.20) знак «+» відповідає руховому режиму роботи двигуна, а знак "-" - гальмівного. Використовуючи формули (4.19) і (4.20), можна отримати уточнену формулу Клосса для запису залежності моменту асинхронного двигуна від ковзання:

$$M = \frac{2M_k(1 + aS_k)}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + 2aS_k}. \quad (4.21)$$

$$\text{де } a = \frac{R_1}{R'_{2\Sigma}}.$$

У ряді випадків використовують спрощену формулу Клосса, прийнявши  $a = 0$  тоді

$$M = \frac{2M_k}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}}. \quad (4.22)$$

При дослідженні перехідних режимів систему рівнянь (4.1), формули (4.2) і (4.3) записують зазвичай у відносних одиницях [32, 33, 34]. Рациональний вибір системи базових одиниць залежить від типу аналізованого асинхронного електроприводу та досліджуваних завдань [33].

Наведене математичний опис перехідних і сталих процесів в асинхронному двигуні показує, що керуючими впливами, що змінюють характеристики двигуна, є амплітуда (або діюче значення) змінного напруги живлення, частота і амплітуда змінної напруги, що підводиться до статора,

сумарний активний опір роторних ланцюгів (для двигунів з фазним ротором, коли можна змінювати значення додаткового опору ротора).

У сучасних системах електроприводу регулювання зазначених параметрів виробляється з використанням різних типів напівпровідникових перетворювачів, тому вихідні вирази повинні бути доповнені математичним описом і моделями розглянутих типів перетворювачів з урахуванням систем керування ними, що дозволить аналізувати процеси в системі «перетворювач - асинхронний двигун». Залежно від розглянутого класу регульованих асинхронних електроприводів і досліджуваних режимів аналіз процесів може бути проведений з урахуванням полігармонічного складу живлячої напруги при використанні напівпровідникових перетворювачів або тільки по гладкій (корисної) складової напруги живлення, а також з урахуванням насичення магнітного кола асинхронної машини або при сталості параметрів та ін.

На рисунку 4.3 зображена схема частотно-регульованого електропривода.

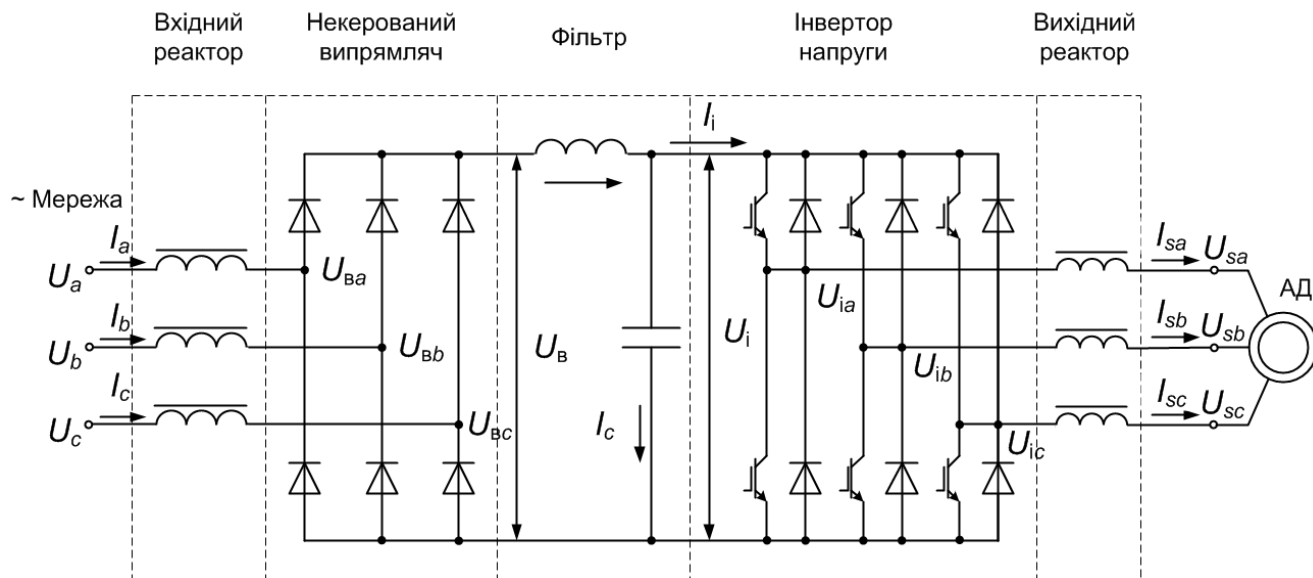


Рисунок 4.3 – Схема частотно-регульованого електропривода

## 4.2 Моделювання динамічних режимів частотно-регульованого електропривода

Структурна схема частотно-регульованого електропривода з пропорційно-інтегруючим регулятором швидкості зображена на рисунку 4.4. На основі цієї структурної схеми складено модель у середовищі MATLAB за допомогою пакета моделювання динамічних систем Simulink, яка зображена на рисунку 4.5.

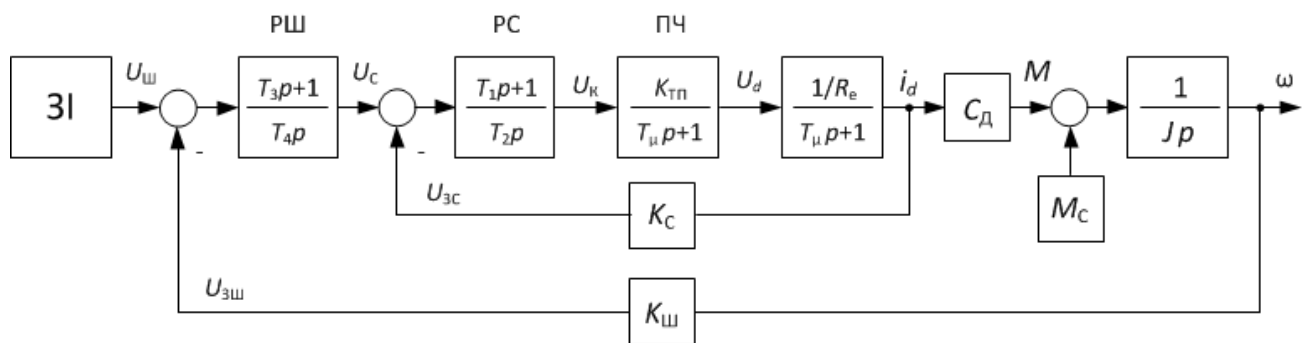


Рисунок 4.4 - Структурна схема частотно-регульованого електропривода з пропорційно-інтегруючим регулятором швидкості.

Керування частотно-регульованого електропривода реалізовано за принципом підлеглого регулювання. Система розбита на два контури - швидкості й струму. Кожен контур містить пропорційно-інтегруючий регулятор і негативний зв'язок за контрольованою змінною. На вхід системи подається сигнал із задатчика інтенсивності (ЗІ), який представлений у блоці Subsystem, і склад якого зображено на рисунку 4.6.

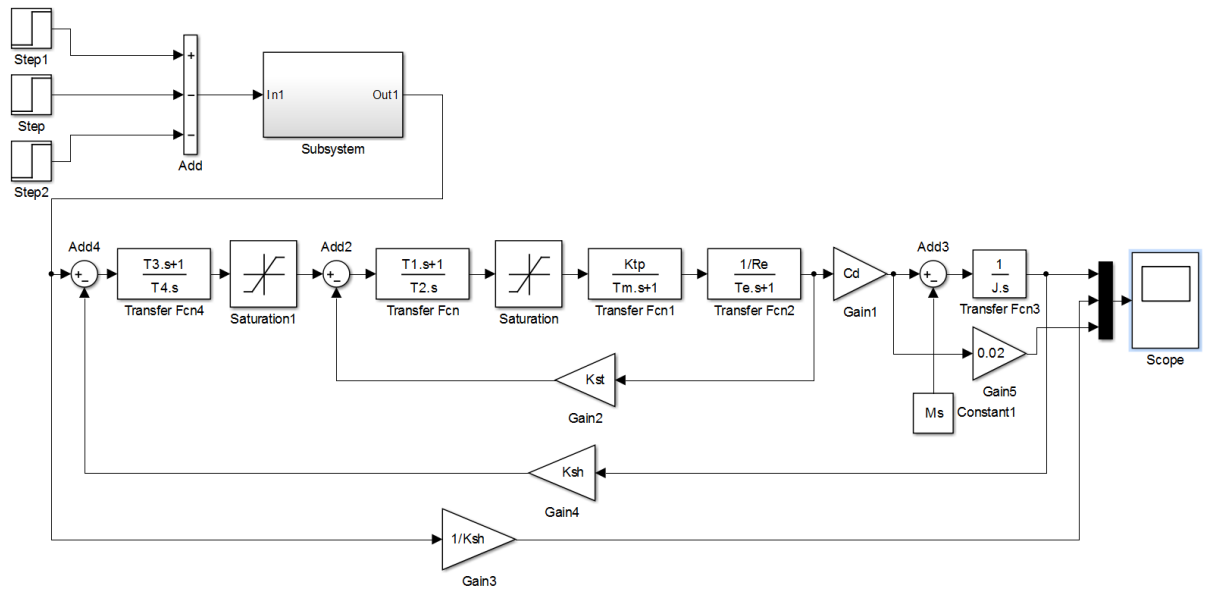


Рисунок 4.5 - Схема моделі частотно-регульованого електропривода

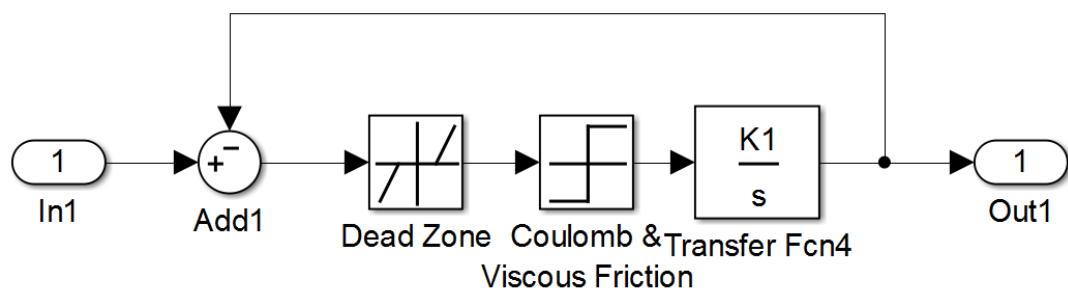


Рисунок 4.6 - Схема задатчика інтенсивності реалізована у середовищі  
MATLAB

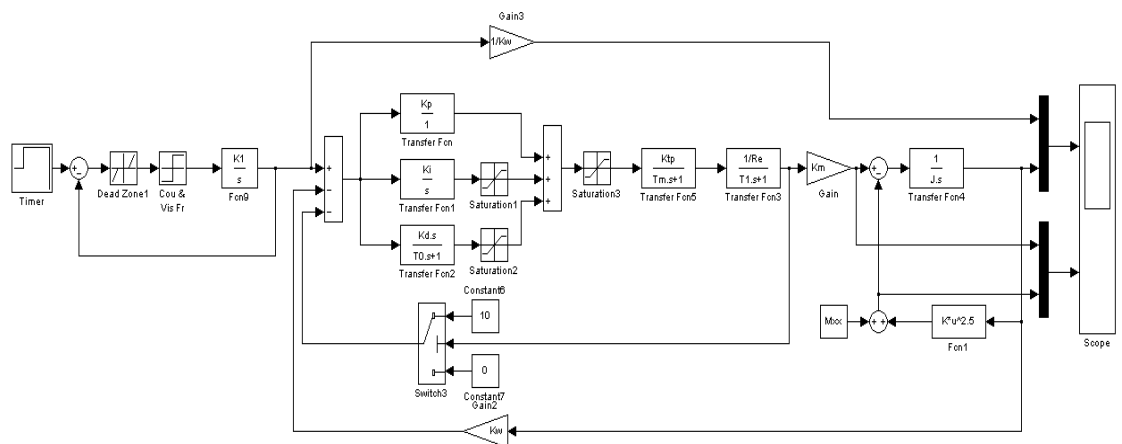


Рисунок 4.7 - Simulink-модель ПЧ-АД з ПІД регулятором.

У таблиці 4.1 наведені позначення основних елементів схеми.

Таблиця 4.1 - Позначення основних елементів схеми

Позначення	Призначення
$U_{1m} = 10 \text{ В}; K_1 = \frac{\varepsilon_{max}}{\omega_{max}};$ $\varepsilon_{max} = \frac{(0,8 \dots 0,9)M_{max} - M_c}{J};$	Задатчик інтенсивності
$k_c = \frac{U_{oc.max}}{I_{d.max}}; I_{d.max} = \frac{M_{max}}{k_m}$	Коефіцієнт передачі за струмом
$W_{pc}(p) = \frac{T_1 \cdot p + 1}{T_2 \cdot p}; T_1 = T_e;$ $T_2 = \frac{a_c \cdot T_\mu \cdot K_{тп} \cdot K_c}{R_e}$	Передатна функція регулятора струму
$W_{рш}(p) = \frac{T_3 \cdot p + 1}{T_4 \cdot p}$ $T_3 = a_c \cdot a_{ш} \cdot b_{ш} \cdot T_\mu; T_4 = \frac{T_3}{K_{рш}}$ $K_{рш} = \frac{K_c \cdot J}{a_c \cdot a_{ш} \cdot T_\mu \cdot C_d \cdot K_c}$	Передатна функція регулятора швидкості
$1/K_s, 0,02$	Масштабний коефіцієнт

#### 4.2.1 Розрахунок параметрів частотно-регульованого електропривода для моделювання

Для моделювання було вибрано тихохідний асинхронний двигун АЧ200LC8. Вихідні дані для моделювання представлені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Вихідні дані для моделювання.

$P_{но}$	$U_{но}$	$I_{но}$	$n_{но}$	$n_0$	$R_1$	$X_1$	$R'_2$	$R'_1$	$\lambda$	$J_{дв}$
М	М	М	М	М	М	М	М	М	-	кг·м <sup>2</sup>
кВт	В	А	об/хв	об/хв	О	О	О	О		



5,4	380	8,2	96	10	0,	0,	0,	0,	2	0,
				0	06	07	04	11	,3	05

Регулятор швидкості: пропорційно-інтегруючий.

Регулятор струму: пропорційно-інтегруючий.

Сумарний активний опір двигуна:

$$R_{\text{дв}} = R_1 + R'_2 = 0,06 + 0,04 = 0,1 \text{ Ом.}$$

де  $R_1$  – активний опір обмотки статора двигуна,  $R'_2$  – приведений активний опір обмотки ротора двигуна.

Сумарний реактивний опір двигуна:

$$X_{\text{дв}} = X_1 + X'_2 = 0,07 + 0,11 = 0,18 \text{ Ом.}$$

де  $X_1$  – реактивний опір обмотки статора двигуна,  $X'_2$  – приведений реактивний опір обмотки ротора двигуна.

Еквівалентний опір двигуна

$$R_{\text{екв}} = 2 \cdot R_{\text{дв}} + \frac{3}{\pi} \cdot X_{\text{дв}} = 2 \cdot 0,1 + \frac{3}{\pi} \cdot 0,18 = 0,37 \text{ Ом.}$$

Індуктивність обмотки статора двигуна визначається з формули:

$$L_1 = \frac{X_1}{2\pi f_{\text{ном}}} = \frac{0,07}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,22 \text{ мГн.}$$

Приведена індуктивність обмотки ротора двигуна визначається з формули:

$$L'_2 = \frac{X'_2}{2\pi f_{\text{ном}}} = \frac{0,11}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,35 \text{ мГн.}$$

Сумарна індуктивність двигуна:

$$L_{\text{дв}} = L_1 + L'_2 = 0,22 + 0,35 = 0,57 \text{ мГн.}$$

Еквівалентна індуктивність двигуна:

$$L_e = 2 \cdot L_{\text{дв}} = 2 \cdot 0,57 = 1,14 \text{ мГн.}$$

Еквівалентна стала часу:

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0,00114}{0,37} = 0,003 \text{ с.}$$

**Розрахункові параметри двигуна:**

Номінальна кутова швидкість обертання двигуна:

$$\omega_{\text{НОМ}} = 0,105 \cdot n_{\text{НОМ}} = 0,105 \cdot 96 = 10,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальний момент двигуна

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{5400}{10,08} = 535,7 \text{ Н.}$$

$$\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{НОМ}}} \rightarrow M_{\text{max}} = \lambda \cdot M_{\text{НОМ}} = 2,3 \cdot 535,7 = 1232,11 \text{ Н.}$$

де  $\lambda$  – перевантажувальна здатність двигуна.

Розрахуємо параметри структурної схеми і регулятора швидкості:

$$T_{\mu} = 0,01 \text{ с}$$

де  $T_{\mu}$  – мала стала часу.

Конструктивний коефіцієнт двигуна:

$$C_d \approx k_m = \frac{E_{d\text{max}}}{\omega_0} = \frac{380 \cdot 1,35}{10,5} = 48,86.$$

Коефіцієнт перетворювача частоти:

$$k_{\text{пч}} = \frac{U_{d.\text{max}}}{U_{k.\text{max}}} = \frac{k_{\text{сх}} \cdot U_{\text{вх}}}{10} = \frac{1,35 \cdot 380}{10} = 51,3$$

Максимальна кутова швидкість обертання двигуна

$$\omega_{\text{max}} = 0,105 \cdot n_0 = 0,105 \cdot 100 = 10,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Коефіцієнт зворотнього зв'язку за швидкістю:

$$k_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{ош.}\text{max}}}{\omega_{\text{max}}} = \frac{10}{10,5} = 0,95.$$

$$I_{d.\text{max}} = \frac{M_{\text{max}}}{k_m} = \frac{1232,11}{48,86} = 25,21 \text{ А.}$$

Коефіцієнт зворотнього зв'язку за струмом:

$$k_c = \frac{U_{\text{ос.}\text{max}}}{I_{d.\text{max}}} = \frac{10}{25,21} = 0,4.$$

Коефіцієнт регулятора швидкості:

$$k_{\text{рш}} = \frac{J \cdot k_c}{a_{\text{ш}} \cdot a_c \cdot T_c \cdot k_m \cdot k_{\text{ш}}} = \frac{10 \cdot 0,4}{a_{\text{ш}} \cdot a_c \cdot 0,01 \cdot 48,86 \cdot 0,95} = 2,15$$

Передатна функція регулятора струму.

$$W_{pc}(p) = \frac{T_1 \cdot p + 1}{T_2}$$

Параметри регулятора струму  $T_1, T_2$ :

$$T_1 = T_e = 0,003 \text{ с.}$$

$$T_2 = \frac{a_c \cdot T_\mu \cdot k_{пч} \cdot k_c}{R_e} = \frac{a_c \cdot 0,01 \cdot 51,3 \cdot 0,4}{0,37} = 1,109 \text{ с.}$$

Передатна функція регулятора швидкості.

$$W_{пш}(p) = \frac{T_3 \cdot p + 1}{T_4 \cdot p};$$

Параметри регулятора швидкості  $T_3, T_4$ :

$$T_3 = a_c \cdot a_{ш} \cdot b_{ш} \cdot T_\mu = 2 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 0,01 = 0,16;;$$

$$T_4 = \frac{T_3}{K_{пш}} = \frac{0,16}{2,15} = 0,075.$$

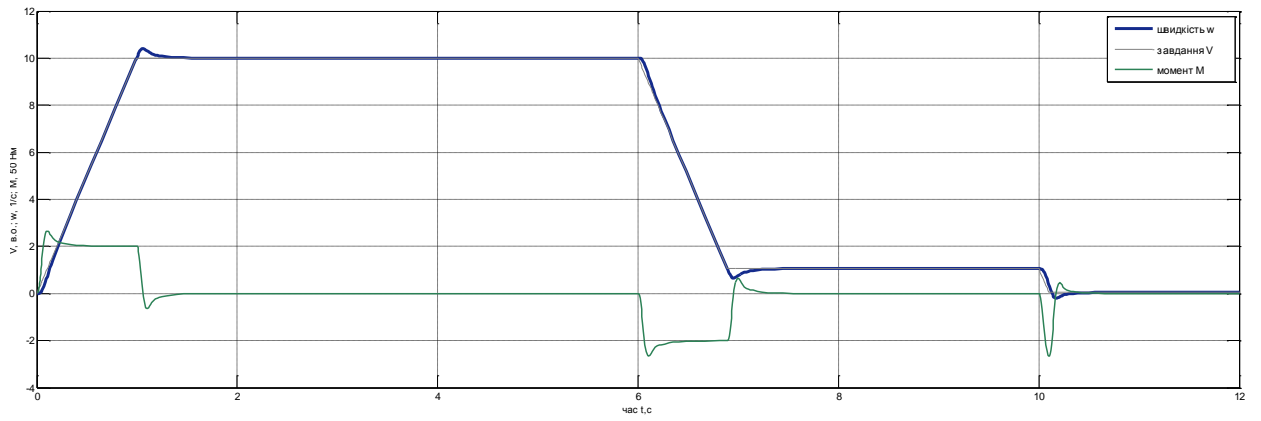
### 3.4 Моделювання системи ПЧ-АД за допомогою пакету Matlab

Для моделювання системи ПЧ-АД скористуємося пакетом Matlab. За допомогою структурної схеми системи ПЧ-АД складемо Simulink-модель досліджуваної системи з ПД регулятором швидкості.

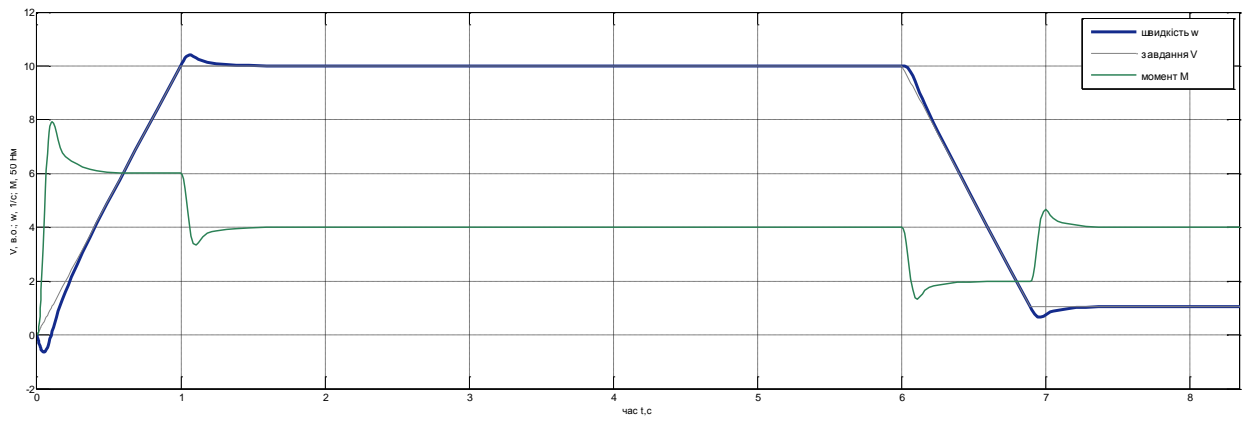
Щоб отримати потрібні графіки залежності моменту та швидкості двигуна від часу треба створити m-файл. Параметри використані в m-файлі зображено на рисунку 3.4.

#### 4.2.2 Результати комп'ютерного моделювання

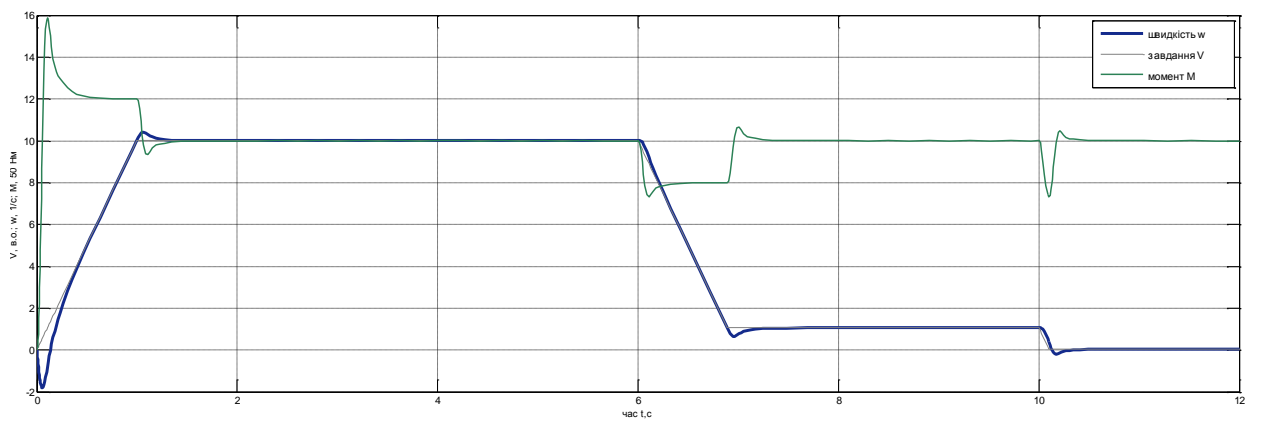
На рисунку 4.7 представлені діаграми заданої й дійсної швидкості, і моменту частотно-регульованого електропривода відповідно: а)  $M = 0 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ; б)  $M = 200 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ; в)  $M = 500 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . При реверсі: г)  $M = 0 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ; ґ)  $M = 200 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ; д)  $M = 500 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .



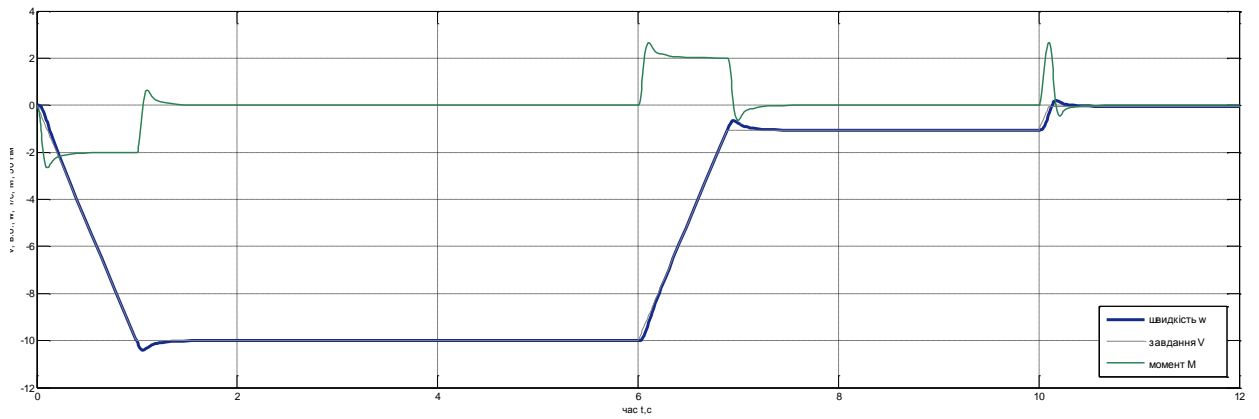
a)



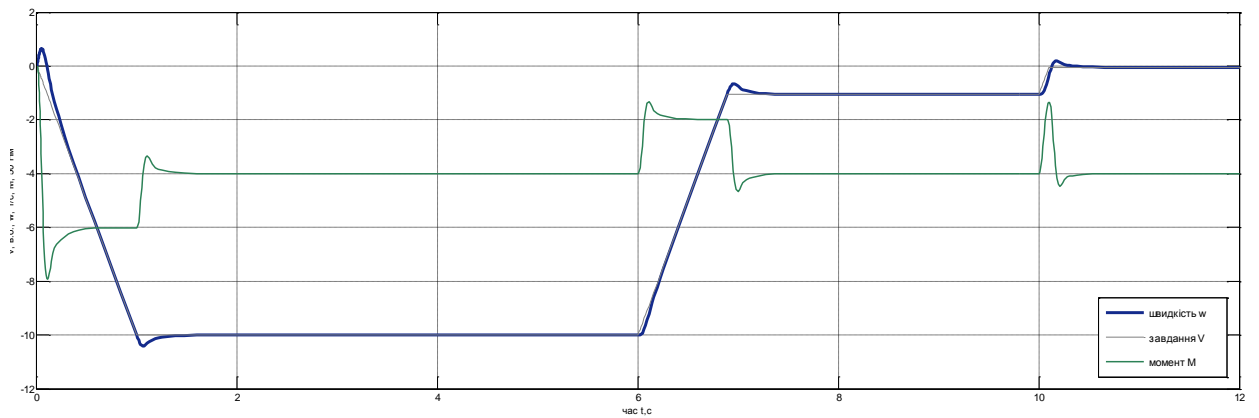
б)



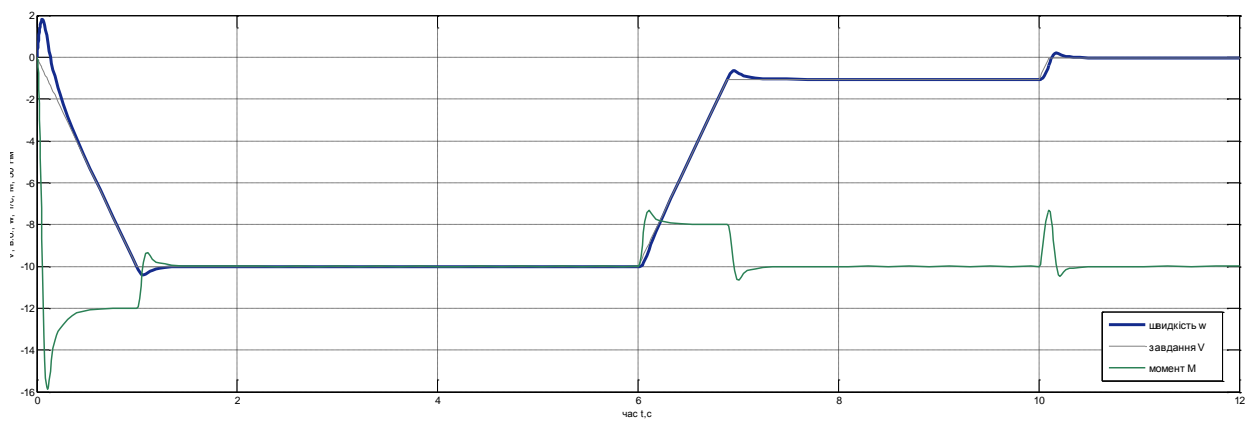
в)



г)



г)



д)

Рисунок 4.8 Результати комп'ютерного моделювання режимів пуску і гальмування

## РОЗДІЛ 5 СТАРТАП-ПРОЕКТ ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИМІРЮВАЧА РІВНЯ В СИСТЕМАХ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

### 5.1 Цілі та етапи реалізації стартап-проекту

Розглянемо обґрунтування цілей даного стартап-проекту відносно його етапів, які занесені до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Цілі основних етапів реалізації стартап-проекту

Етапи реалізації стартап-проекту	Цілі етапів реалізації стартап-проекту
Початковий етап стартап-проекту	Дослідження потрібних характеристик та суперечностей, технологічних недосконалостей діючих продуктів-аналогів конкурентного середовища
Етап обґрунтування актуальності та новизни інноваційної ідеї	Подолання певних суперечностей поточних виробників та досягнення кращих показників температури навколишнього середовища
Етап аналізу конкурентного середовища	Виявлення можливих конкурентів-виробників, які виготовляють схожі температурні датчики або пропонують схожу продукцію та здійснення порівняльного аналізу техніко-економічних переваг та недоліків реалізації пропонованої ідеї
Етап фінансового забезпечення реалізації проекту	Обґрунтування собівартості та ціни впровадження нових датчиків
Маркетинговий етап реалізації проекту	Обґрунтування каналів збуту датчиків, залучення потенційних покупців, формування фінальних аргументів переконання

### 5.2 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту

Ідеєю даного стартап-проекту є впровадження цифрового ультразвукового вимірювача рівня ВЗЛЕТ УР (УР-221) в системах водовідведення котеджних містечок. Ультразвуковий вимірювач рівня призначений для безконтактного вимірювання рівня різних рідин і дистанції до межі розділу середовищ. Дозволяє визначати середній рівень і перепад рівнів у двох точках, наповнення та об'єм рідини в резервуарах з відомими об'ємними характеристиками. Максимальна вимірювана відстань до 15 м. Вимірювач рівня застосовується для визначення рівня різноманітних середовищ у відкритих і закритих резервуарах або інших ємностях. В якості вимірювального середовища можуть виступати різні рідини, а також сипкі матеріали різних фракцій.

Перевага та основна відмінність вимірювача рівня від сигналізатора рівня - це здатність вимірювати рівень в динаміці, а не тільки граничні значення. Переваги ультразвукових рівнемірів:

- відсутній контакт з вимірюваним середовищем;
- компактна конструкція і відсутність рухомих частин;
- не потребують частого обслуговування.

Ультразвуковий рівнемір марки "ВЗЛЕТ" на сьогоднішній день - це надійне компактний пристрій здатний забезпечити безперебійний моніторинг рівня рідини. Показання приладу можуть перетворитися в аналоговий сигнал або передаватися по цифровим інтерфейсам, що дає можливість їх використовувати для повної автоматизації процесу водовідведення в складі автоматизованих систем(АСУТП). Також запропонований вимірювача рівня компактніший за аналоги, що дає більше варіантів розміщення. Він має рівень захисту IP 65, що надає переваги над аналогами у захисті та довговічності. Актуальність та новизна ідеї стартап-проекту наведено в таблиці 5.2

Таблиця 5. 2

Актуальність та новизна ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги та вигоди споживача
------------	-----------------------	------------------------------

Застосування цифрового ультразвукового вимірювача рівня ВЗЛЕТ УР (УР-221)	Водопостачання та водовідведення	Точність вимірювання до 15м та температурі при -50...70 °С: $\pm 0,46$ К
	Агропромисловість	Вимірювання рівня сипучих матеріалів ( насіння, зерно, міндобрива) Застосування в сушарках зерна
	Нафтогазова	Високий рівень захисту датчика та його компактність .Наднизьке енергоспоживання

### 5.3 АНАЛІЗ КОНКУРЕНТНОГО СЕРЕДОВИЩА

На сьогоднішній день існує велика кількість виробників електронних компонентів, зокрема датчиків зовнішньої температури: SimpleTech , Baumer, Microsonar ,. У всіх цих виробників є схожі за призначенням але різні за характеристиками датчики зовнішньої температури.

Тому для детальнішого розуміння різниці між ультразвукового вимірювача рівня ВЗЛЕТ УР (УР-221) та аналогічними ультразвуковими вимірювачами рівня конкурентів складемо порівняльну таблицю техніко-економічних характеристик (таблиця5. 3).

Таблиця5. 3

Переваги продукту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики	Стартап-проект	Microsonar	BAUMER
1.	Модель	УР-221	<a href="#">URP-213-4</a>	<a href="#">UZAM 70</a>
3.	Діапазон вимірювання рівня	До 15м	До 2м	До 6 м
4.	Точність вимірювання	$\pm 0,16$ м	$\pm 0,15$ м	$\pm 0,09$ м
5.	Корпус	Полікарбонат	Полікарбонат	Полікарбонат
6.	Вологість навколишнього середовища	95% r.h., ,без конденсації	85% r.h., ,без конденсації	80% r.h., ,без конденсації



7.	Підключення	Двопровідне	Двопровідне	Двопровідне
8.	Ступінь захисту ІЕС/EN	IP65	IP64	IP55
9.	Габаритні розміри, мм	89,8x65,59x49,5	95x74x50	99,7x75,56x53,5
10.	Ціна	703 грн	945 грн	810 грн

Як видно з вище наведених характеристик, як з технічної сторони так і з економічної ультразвукового вимірювача рівня ВЗЛЕТ УР (УР-221) має переваги над моделями конкурентів. Водночас, в ході реалізації стартап-проекту здійснимо SWOT-аналіз потенційних загроз та можливостей реалізації стартап-проекту, визначивши сильні та слабкі сторони, а також його можливості та загрози [5].

Адже ринок щосекунди росте і розвивається, відповідно з'являються нові конкуренти, нові загрози але також з'являються і нові можливості. Тому дуже важливо знати та правильно керувати своїми слабкими та сильними сторонами щоб бути конкурентноспроможним на ринку.

До потенційно внутрішніх переваг (сильні сторони) можна віднести:

- унікальність;
- іноваційність;
- жорсткий конкурент на ринку;
- особлива стратегія наступу;
- сприяння зростанню чисельності цільових груп споживачів;
- вища за середню обізнаність про стан ринку;
- концентрація на швидко зростаючих сегментах ринку;
- увага до зниження витрат;
- вищі за середні маркетингові навички;
- компетентність у даній сфері;

До потенційно внутрішніх недоліків (слабкі сторони) можна віднести:

- відсутність досконалих знань з організаційно-правових форм організації бізнесу;

- постійні атаки з боку ключових конкурентів;
- нижчі за середні темпи зростання;
- брак фінансових ресурсів;
- розміри виробництва та застосування надто малі, щоб впливати на ринкову ситуацію;

До потенційних зовнішніх можливостей можна віднести:

- різкий розвиток економіки країни на сьогоднішній день;
- доступність інвестицій та кредитів;
- обслуговування додаткових груп споживачів, а саме приватних підприємців;
- входження в нові ринки;
- розширення виробництва для задоволення потреб споживачів;
- зовнішні мережні структури;

До потенційних зовнішніх загроз відносяться:

- велика ймовірність виникнення нових конкурентів, зокрема іноземних;
- зростання збуту товарів-замінників;
- зростання тиску конкурентів;

Результати SWOT-аналізу даного стартап-проекту узагальним у відповідній матриці (таблиця 5.4).

Таблиця 5. 4

Матриця SWOT-аналізу

S (strength) – Сильні сторони	W (weaknesses) – Слабкі сторони
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Унікальність.</li> <li>2. Інноваційність.</li> <li>3. Жорсткий конкурент на ринку.</li> <li>4. Особлива стратегія наступу.</li> <li>5. Сприяння зростанню чисельності цільових груп споживачів.</li> <li>6. Вища за середню обізнаність про стан ринку.</li> <li>7. Концентрація на швидко зростаючих сегментах ринку.</li> <li>8. Увага до зниження витрат.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Відсутність досканалих знань з організаційно-правових форм організації бізнесу.</li> <li>2. Постійні атаки з боку ключових конкурентів.</li> <li>3. Нижчі за середні темпи зростання;</li> <li>4. Брак фінансових ресурсів.</li> <li>5. Розміри виробництва та застосування надто малі, щоб впливати на ринкову ситуацію.</li> </ol>

9. Вищі за середні маркетингові навички. 10. Компетентність у даній сфері.	
О (opportunities) – Можливості	Т (threats) – Загрози
1. Різкий розвиток економіки країни на сьогоднішній день. 2. Доступність інвестицій та кредитів. 3. Обслуговування додаткових груп споживачів, а саме приватних підприємців. 4. Входження в нові ринки. 5. Розширення виробництва для задоволення потреб споживачів. 6. Зовнішні мережні структури.	1. Велика ймовірність виникнення нових конкурентів, зокрема іноземних. 2. Зростання збуту товарів-замінників. 3. Зростання тиску конкурентів.

#### 5.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту

Стартап-проект розраховується на продаж ультразвукового вимірювача рівня ВЗЛЕТ УР (УР-221) в кількості 25 000 шт. на рік. Даний проект має дві статті капіталовкладень: прямі матеріальні затрати та інші прямі витрати. До прямих матеріальних затрат входять:

- витрати сировини й матеріалів за винятком повернених відходів;
- витрати комплектуючих виробів;
- оплата заводу.

До інших прямих витрат входять:

- витрати на рекламу, оренду;
- прямі інші витрати.

Загальна сума капіталовкладень для реалізації даного стартап-проекту складає 7 552 000 грн. Всі детальні суми затрат на кожну статтю наведені у таблиці 5.6

Таблиця 5.6. Обґрунтування капіталовкладень на реалізацію проекту

Статті капіталовкладень	Величина, тис. грн.
Прямі матеріальні затрати	
– витрати сировини й матеріалів за винятком повернених відходів	813

– витрати комплектуючих виробів	2 885
– оплата заводу	3 750
Інші прямі витрати:	
– витрати на рекламу, оренду	68
- прямі інші витрати	36
Всього капіталовкладень на реалізацію проекту	7 552

### 5. 5 Ключові види діяльності та партнери

Мета даного проекту досягається за допомогою двох видів діяльності, а саме реалізації та виробництва (таблиця 7). Оплативши всі потрібні затрати на сировину та комплектуючі ми передаємо замовлення на завод «КОНЦЕРН-ЕЛЕКТРОН», який являється нашим партнером для процесу виготовлення датчика ультразвукового вимірювача рівня ВЗЛЕТ УР (УР-221) відповідно стандартам ISO 9001.

Таблиця 5.7 Ключові види діяльності

Назва діяльності	Опис діяльності	Результат діяльності
Виробництво	Виготовлення ультразвуко-вого вимірювача рівня УР-221 з наданої сировини та комплектуючих матеріалів.	ультразвуковий вимірювача рівня УР-221
Реалізація	Впровадження ультразвуко-вого вимірювача рівня УР-221 в системах водовідведення	Продаж вимірювачів замовнику

Після закінчення процесу виготовлення, продукт відвантажують на склад, який ми орендуємо. Далі займаємося реалізацією продукту за допомогою реклами.

Ключовим партнером являється завод «КОНЦЕРН-ЕЛЕКТРОН», який виробляє з наших матеріалів та комплектуючих елементів кінцевий продукт. Сировинний матеріал та комплектуючі елементи закупаємо у компанії “DIYLAB”. Додаткова інформація про партнерів наведена у таблиці 8.

Таблиця 5. 8

Ключові партнери

Інформація	«КОНЦЕРН-ЕЛЕКТРОН»	“DIYLAB”
Повна офіційна назва організації-партнера	Приватне акціонерне товариство «КОНЦЕРН-ЕЛЕКТРОН»	"DiyLab" - інтернет-магазин електронних модулів та компонентів
Місце розташування, адреса	вул. Стороженка, 32, м. Львів, 79018, Україна	79060 Україна Львівська область Львів
Юридичний статус	Юридична особа	Юридична особа
Контактна особа	Менеджер	Менеджер
Телефон	+ 38-032-239-55-86	+38 063 989-66-40
Адреса електронної пошти	<a href="mailto:info@electron.ua">info@electron.ua</a>	<a href="mailto:diylab.ua@gmail.com">diylab.ua@gmail.com</a>
Роль та залученість до підготовки цього проекту	Виробництво	Постачання
Завдання, які покладаються на організацію партнера в реалізації проекту	Виробництво готового продукту з закупленої сировини та комплектуючих	Постачання сировини та комплектуючих виробів

### 5.6 Прямі матеріальні витрати

Прямі матеріальні витрати розраховуємо з урахуванням щоденної потреби датчиків у кількості 100 шт.

Обрахунок місячних потреб на витрати розраховуємо по формулі:

$$V = X * Y * N_m,$$

де X-ціна за одиницю ресурсу,

Y – кількість ресурсу,

$N_m$ - кількість робочих днів у місяці (22 дня).

Обрахунок річних потреб на витрати розраховуємо по формулі:

$$V_r = X * Y * N_r,$$

де X-ціна за одиницю ресурсу,

Y – кількість ресурсу,

$N_r$  - кількість робочих днів у році (250 днів).

Всі відповідні розрахунки заносимо до таблиці 9.

Таблиця 5.9

## Прямі матеріальні витрати

№ п/п	Назва ресурсу	Одиниця вимір.	Ціна	Кількість ресурсу	Потреба на місяць	Потреба на рік
1.	Витрати сировини й матеріалів	грн.	32,5	100	71 500	812 500
2	Витрати на комплектуючі вироби	грн.	115,4	100	253 880	2 885 000
3	Оплата заводу	грн.	150	100	330 000	3 750 000
Всього:					<b>655 380</b>	<b>7 447 500</b>

**5.7 Інші прямі витрати**

До інших прямих витрат відносяться :

- реклама (3000 грн);
- оренда складу під готову продукцію (2600 грн);
- резервні кошти на форс-мажорні обставини (3000 грн).

Так як вартість послуг фіксована і незмінна на протязі терміну дії угоди (1 рік), річні витрати вираховуємо перемноживши вартість послуг на кількість місяців (12 місяців). Результати обрахунків заносимо до таблиці 10.

Таблиця 5. 10

## Обґрунтування прямих інших витрат

Види послуг	Джерело даних	Вартість послуг, грн.	
		на місяць	на рік
1. Реклама	Угода	3 000	36 000
2.Оренда складу	Угода	2 600	31 200
3. Інші прямі витрати	Резервні	3 000	36 000
<b>Всього:</b>		<b>8 600</b>	<b>103 200</b>

**5.8 Розрахунок собівартості та рентабельності товару**

Так як співпадають умовно-змінні та умовно-постійні витрати з прямими матеріальними витратами та іншими прямими витратами складаємо собівартість товару ( таблиця 5.11).

**Таблиця 5.11. Обґрунтування собівартості товару , грн.**

Статті витрат	Джерела даних	Витрати, тис.грн		
		на одиницю	на місяць	на рік

1. Умовно-змінні витрати	табл.5. 9	297,9	655 380	7 447 500
2. Умовно-постійні (накладні) витрати	табл.5.10	3,9	8 600	103 200
3. Собівартість	стр.1+стр.2	<b>301,8</b>	<b>663 980</b>	<b>7 550 700</b>

Необхідний прибуток – це сума витрат на ФРВ, ФСР, ПФ, грошові виплати засновнику та податок на прибуток.

Прибуток у відсотковому відношенні розподілено наступним чином:

- фонд розвитку виробництва (ФРВ) – 50%;
- фонд соціального розвитку (ФСР) – 25%;
- преміальний фонд (ПФ) – 10%;
- дивіденди засновникам – 15%.

Всі обґрунтування відносно рентабельності занесені до таблиці 12.

Таблиця 5.12 Обґрунтування рівня рентабельності товару

Статті витрат	Джерело даних	Од. вимір.	Значення показників.
1. Собівартість одиниці продукції	табл. 5.11	грн.	<b>7 550 700</b>
Обсяг виробництва в рік	Прогноз	шт.	25 000
2. Необхідний прибуток	пп.2,1+2,2+2,3 +2,4+2,5	грн.	7 080 000
2.1. Засоби ФРВ	Колективна угода	грн.	3 000 000
2.2. Засоби ФСР	Колективна угода	грн.	1 500 000
2.3. Засоби ПФ	Колективна угода	грн.	600 000
2.4. Грошові виплати засновнику	Колективна угода	грн.	900 000
2.5. Податок на прибуток	(2.1+2.2+2.3+2.4)*0.18	грн.	1 080 000
3. Рівень рентабельності	п.2 / п.1*100%	%	<b>29%</b>

продукції			
-----------	--	--	--

Відносно норми рентабельності та собівартості одиниці продукту розраховується «нормальний» питомий прибуток, який в сумі з собівартістю дає вартість виробництва одиниці продукції за формулою вказаною в таблиці 13[7].

Відпускна ціна товару являється сумою вартість виробництва одиниці продукції та ПДВ відносно цієї суми.

Таблиця 5.13

Обґрунтування вартості та ціни

Статті витрат	Джерело даних	Одиниці вимірювання	Значення показників
1. Собівартість одиниці товару	табл. 5.11	грн.	301,8
2. Норма рентабельності	табл. 5.12	%	29
3. «Нормальний» питомий прибуток	п.1 * п.2 / 100%	грн.	284
4. Вартість виробництва одиниці продукції	п.1 + п.3	грн.	585,8
5. ПДВ	п.4*0,2	грн.	117,16
6. Відпускна ціна товару	п.4+п.5	грн.	702,96

Розрахункова відпускна ціна товару складає 702,96 грн, приймаємо за встановлену ринкову ціну 703 грн за одиницю товару.

### 5.9 Канали збуту

Каналами збуту даної продукції являються підрядні фірми, які займаються реконструкціями систем теплопостачання. Інформація буде передана до них за допомогою реклами на яку виділені кошти.

### 5.10 Бізнес-модель проекту

Структурна бізнес-модель даного стартап-проекту наведена в таблиці 14.

Таблиця 5.14

Структура бізнес моделі

Ключові партнери	Ключові види діяльності	Цінність пропозиції	Споживчі сегменти
«КОНЦЕРН-ЕЛЕКТРОН»	1. Виготовлення вимірювачів УР 221 2. Реалізація товару на	Інноваційність. Економія	Особливий споживацький сегмент:



” “DIYLAB	ринку за допомогою реклами та маркетингу.	грошових ресурсів раціональним зменшенням використання теплової енергії.	системи водопостачання та водовідведення, ємності для зберігання сипучих матеріалів у агропромисловості, ємності для зберігання рідин у хімічній промисловості.
	<b>Ключові ресурси</b> 1.Матеріальні ресурси (оренда приміщення, сировина та комплектуючі матеріали). 2.Інтелектуальні ресурси 3. Людські ресурси (кваліфіковані менеджери). 4.Фінансові ресурси(кошти інвестора, кошти з продажів).		<b>Канали збуту</b> Прямий продаж продукту підрядним фірмам замовникам. Реклама, журнали автоматизації, отримання грантів на написання рекламних статей.
<b>Структура собівартості</b> 1.Витрати разові (капітальні): 7 552 000 грн 2.Витрати постійні: 103 200 грн 3.Витрати змінні: 7 447 500 грн		<b>Потоки надходження доходу</b>  Продаж продукції	

### 5.11 Термін окупності стартап-проекту та висновки

Чим швидше окупаються інвестиції, тим менше впливає на них інфляція!  
 Про сказаний головний закон ринку ніколи не потрібно забувати.

Тому для оцінки доцільності інвестування даного стартап-проекту скористаємося формулою визначення терміну окупності:

$$T = IC/P,$$

де Т – термін окупності;

IC – початкова інвестиція у даний проект;

P – очікуваний щорічний прибуток, що планується.

$$T = 7\,552\,000 / 6\,509\,300 = 1,16 \text{ р.}$$

Період повної окупності даного стартап-проекту з урахуванням початкової інвестиції у розмірі 7 552 000 грн складає 1 рік та 2 місяці.

### Висновок

Даний стартап-проект однозначно має великі перспективи на ринку. Це спостерігається як у розрахунках так і в технічних характеристиках. Даний товар, а саме ультразвуковий вимірювач рівня УР-221 має значні переваги над конкурентами в показниках надійності, точності, ціні. Проект має дуже гарні показники рівня рентабельності 29%, що відіграє важливу роль в окупності та майбутньому розвитку та розширенню. Також спостерігається попит та динаміка на ринку відповідно даного продукту, що покращує стартові продажі та закріплення на ринку. Підведемо підсумки підготовки інноваційного стартапу та узагальнення основних техніко-економічних показників у таблиці 5. 15

Таблиця 5.15

Узагальнюючі техніко-економічні

показники

Показники	Значення
Річний випуск продукції, шт.	25 000
Капіталовкладення, тис. грн.	7 552
Собівартість продукції, тис. грн.	7 551
Ціна продукту, грн	703
Прибуток, тис. грн.	6 509

Рентабельність, %	29
Період повернення капіталовкладень, років	1,16

## ВИСНОВКИ

За результатами проведеної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Розглянуто основні напрямки енергозбереження, запропоновано пропозиції щодо зниження енергоспоживання систем водовідведення стічних вод та очисними спорудами, методи підвищення енергетичних показників насосного обладнання, для підвищення енергетичних показників і якості електроенергії. Визначено, що найбільш вагомими результатами є перехід до регульованого електропривода, а також перехід на двигуни з кращими показниками енергоефективності.
2. Найважливішими споживачами електроенергії в системах водовідведення та водопостачання є насосні установки, які найчастіше розглядаються як групові споживачі, де одночасно можуть працювати кілька насосних агрегатів (НА), включених паралельно або послідовно в загальну трубопровідну систему. Такі системи характеризуються значним числом різних чинників, а саме: наявністю протитиску (статичного напору), гідродинамічного опору, який залежить від фізичних властивостей переміщуваної рідини, матеріалу трубопроводу, різних умов гідротранспортування й т. ін.
3. В результаті аналізу роботи насосних установок визначено, що найбільш енергоефективним є керування на базі нечіткої логіки.
4. Досліджено частотно-регульований електропривод за допомогою віртуальної моделі в середовищі MATLABSimulink. Дослідження показало, що електроприводи змінного струму – частотно-регульований мають хороші динамічні показники.

## ПЕРЕЛІК ПОИСЛАНЬ

1. Закладний О.М. Энергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник / О.М.Закладний, А.В.Праховник, О.І. Соловей – К.: «Кондор», 2005. – 408 с.
2. Хитров А.И. Перспективы применения энергосберегающих решений в электроприводах главного движения лифта.Труды ППИ /А.И. Хитров, А.А. Хитров - Псков: Изд-во ППИ, 2011. –№ 14.3, с 367-376.
3. Марков А.М. Современные и перспективные конструкции электрических и гидравлических лифтов. Труды ППИ /А.М.Марков, Т.А. Маркова - Псков: Изд-во ППИ, 2008. – №11.3. – с. 254–258.
4. Овчинников, И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе / И.Е.Овчинников. – СПб.: КОРОНА – Век, 2006.– 336 с.
5. Стаття «Ліфти по-українськи: ризикує кожний другий»  
<http://realt.aviso.ua/uk/news?id=9bb16230-55fd-4eb1-bd93-fdd52c68da60>
6. Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник для вузов / Г.Г.Соколовский.- М.: Академия, 2006. - 272 с.
7. Архангельский, Г.Г. Современные тенденции и совершенствование конструкции лифтового оборудования / Г.Г.Архангельский. - М.: Изд-во МГСУ, 2006.
8. Гельман, М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
9. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятия / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 272 с.
10. Povh, D. Improvement of Power Quality by Power Electronic Equipment / D. Povh, M. Weinhold. – CIRGE. – Paper 13/14/36-06. – Paris, 2000.

- 11.ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Электромагнитная совместимость. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Госстандарт, 1998.
- 12.Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 672 с.
- 13.Хохлов, Ю.И. Энергосберегающая энергетическая электроника в системах электроснабжения. Часть 1: Устройства с нулевой кратностью преобразования частоты: учебное пособие / Ю.И. Хохлов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 250 с.
- 14.Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники / Г.С. Зиновьев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 672 с.
- 15.Хохлов, Ю.И. Проблемы повышения коэффициента мощности в сетях напряжением 0,4 кВ с асинхронными двигателями и тиристорными регуляторами / Ю.И.Хохлов, К.А. Преображенский // Вестник ЮУрГУ. Серия«Энергетика». – 2004. – Вып. 4. – 1(30). – С. 41–47.
- 16.Siemens simovert masterdrives AFE catalogue. 2005. – 117 p.
- 17.А.с. 556550 СССР. Способ управления вентильным преобразователем / М.В. Гельман, С.П. Лохов, А.Н. Рыжков. – № 556550; заявл. 27.3.1972; опубл. 30.04.1977, Бюл. № 16.
- 18.Лохов, С.П.Повышение качества в автономных системах управляемой компенсации отклонений тока от энергетически оптимальной формы /С.П. Лохов, М.В. Гельман // Труды семинара «Кибернетика электроэнергетических систем». – Челябинск: Изд-во ЧПИ, 1974. – Вып. 1. – С. 274–277.
- 19.Зиновьев, Г.С. Вентильные компенсаторы реактивной мощности, мощности искажений и мощности несимметрии на базе инвертора напряжений / Г.С. Зиновьев // Современные задачи преобразовательной техники.– Киев: ИЭД АН УССР, 1975.– Ч. 2. – С. 247–252.

20. Лабунцов, В.А. Однофазные полупроводниковые компенсаторы пассивной составляющей мгновенной мощности / В.А. Лабунцов, Чжан Дайжун // Электричество. – 1993. – № 12. – С. 20–26.
21. Гельман, М.В. Комбинированные системы электроснабжения переменного и постоянного напряжения / М.В. Гельман, К.А. Преображенский, Ю.И. Хохлов [Электронный ресурс] // Материалы VIII Симпозиума «Электротехника. 2010 год. Перспективные виды электротехнического оборудования для передачи и распределения электроэнергии». Тезисы докладов. – М.: Ассоциация ТРАВЭК, 2005. – С. 167–168.
22. Герман-Галкин, С.Г. Matlab & Simulink / Проектирование механотронных систем на ПК / С.Г. Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА Век, 2008. – 368 с.
23. Колесников А.И. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях / М.Н. Федоров, Ю.М. Варфоломеев.. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 124 с.
24. Тишин В.А. Кому нужны электросчетчики на лифтах? - Лифтинформ. - №8, 2007. - с. 30-31.
25. Ганкевич Е. Ю. Энергосбережение и надежность работы лифтов /Е. Ю. Ганкевич. / Лифт. № 3, 2011. С. 45–48.
26. Кругликов О. «Отвезет тот, кому повезет» статья [Электронный ресурс] / О. Кругликов, Л. Макаров <http://konstruktor.net/podrobnее-elekt/items/otvezet-tot-komu-povezet.html>.
27. Закладний О.М. Енергоефективний електропривод з вентильним двигуном: Монографія /О.М.Закладний, О.О.. Закладний. – К.: «Либра», 2012.
28. Закладний О.М. «Математичні моделі для визначення рівня енергоефективності електропривода з вентильним двигуном у відповідності зі способами керування», // Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ / О.М.Закладний, А.В. Якимчук 2012.–511с. С. 320-326.

29. Браславский И.Я Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. Пособие для студ. Высш учеб. Заведений / И.Я Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; Под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.
  30. Ключев В. И. Теория электропривода: Учеб. для вузов — 2-е изд., перераб. и доп / В. И. Ключев. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 704с.
  31. Копылов И. П. Электромеханические преобразователи энергии /И. П. Копылов. — М.: Энергия, 1973. — 400 с.
  32. Соколов М.М. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе / М.М. Соколов, Л.П. Петров, Л.Б. Масандилов, В.А. Ладензон. — М.: Энергия, 1967. — 200 с.
  33. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р. Т. Шрейнер. — Екатеринбург: УРО РАН, 2000. - 654 с.
- Янко-Триницкий А.А. Уравнения переходных электромагнитных процессов асинхронного двигателя и их решения/А.А. Янко-Триницкий Электричество. — 1951.-№3.-С. 18